

PCT

世界知的所有権機関
国際事務局
特許協力条約に基づいて公開された国際出願



(51) 国際特許分類6 G03F 1/08, 9/00, H01L 21/027	A1	(11) 国際公開番号 WO99/50712 (43) 国際公開日 1999年10月7日(07.10.99)
(21) 国際出願番号 PCT/JP99/01548		(81) 指定国 AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CU, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, GB, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IS, JP, KE, KG, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MD, MG, MK, MN, MW, MX, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZW, 欧州特許 (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), OAPI特許 (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), ARIPO特許 (GH, GM, KE, LS, MW, SD, SL, SZ, UG, ZW), ヨーラシア特許 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM)
(22) 国際出願日 1999年3月26日(26.03.99)		(71) 出願人 (米国を除くすべての指定国について) 株式会社 ニコン(NIKON CORPORATION)[JP/JP] 〒100-0005 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 Tokyo, (JP)
(72) 発明者 ; および (75) 発明者／出願人 (米国についてのみ) 入江信行(IRE, Nobuyuki)[JP/JP] 〒100-0005 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社 ニコン 知的財産本部内 Tokyo, (JP)		(74) 代理人 弁理士 前田 均, 外(MAEDA, Hitoshi et al.) 〒101-0051 東京都千代田区神田神保町一丁目22番地 北信ビル2階 前田・西出国際特許事務所 Tokyo, (JP)
(54) Title: EXPOSURE METHOD AND SYSTEM, PHOTOMASK, METHOD OF MANUFACTURING PHOTOMASK, MICRO-DEVICE AND METHOD OF MANUFACTURING MICRO-DEVICE		(76) 添付公開書類 国際調査報告書
(54) 発明の名称 蘭光方法、露光装置、フォトマスク、フォトマスクの製造方法、マイクロデバイス、及びマイクロデバイスの製造方法		
(57) Abstract <p>A method of manufacturing high-accuracy and high-quality photomask and micro-device, wherein marks (53) are formed in the surrounding areas (52) of a mask (R_i) and a management mask (60) having marks (63) formed in positions opposite to these marks and marks (64 to 66) formed in a pattern area (61) is provided. Image characteristics are corrected by measuring the projected images of the marks (64 to 66) of the management mask (60) and adjusting a projection magnification so as to minimize deviations of projected images of marks (64 to 66) from ideal positions, and the positions of the projected images of marks (63) at that time are measured. When transferring the pattern (P_i) of the mask (R_i), the positions of the projected images of the marks (53) of the mask (R_i) are measured and the image characteristics are corrected so that these positions virtually agree with the positions of the marks (63) of the management mask, the pattern (P_i) of the mask (R_i) then being transferred onto a photosensitive substrate (4).</p>		

(57)要約

高精度、高品質なフォトマスクやマイクロデバイスを製造することが目的である。マスク (R i) の周辺領域 (5 2) にマーク (5 3) を形成し、このマークに相対する位置に形成されたマーク (6 3) 及びパターン領域 (6 1) に形成されたマーク (6 4～6 6) を有する管理用マスク (6 0) を準備する。管理用マスク (6 0) のマーク (6 4～6 6) の投影像を計測し、マーク (6 4～6 6) の投影像の理想位置からのずれ量が最小となるように投影倍率を調整するなどにより結像特性を補正し、このときのマーク (6 3) の投影像の位置を計測しておく。マスク (R i) のパターン (P i) の転写に際し、マスク (R i) のマーク (5 3) の投影像の位置を計測し、その位置が管理用マスクのマーク (6 3) の位置に実質的に一致するように結像特性を補正した状態でマスク (R i) のパターン (P i) を感光基板 (4) 上に転写する。

PCTに基づいて公開される国際出願のパンフレット第一頁に掲載されたPCT加盟国を同定するために使用されるコード(参考情報)

AE アラブ首長国連邦	DM ドミニカ	KZ カザフスタン	RU ロシア
AL アルバニア	EE エストニア	LC セントルシア	SD スーダン
AM アルメニア	ES スペイン	LI リヒテンシュタイン	SE スウェーデン
AT オーストリア	FI フィンランド	LK スリ・ランカ	SG シンガポール
AU オーストラリア	FR フランス	LR リベリア	SI スロヴェニア
AZ オゼルバジヤン	GA ガボン	LS レソト	SK スロヴァキア
BA ボスニア・ヘルツェゴビナ	GB 英国	LT リトアニア	SL シエラ・レオネ
BB ベルバトス	GD グレナダ	LU ルクセンブルグ	SSZ セネガル
BE ベルギー	GE グルジア	LV ラトヴィア	SZ スウェーデン
BF ブルガリア・ファソ	GH ガーナ	MA モロッコ	TD チャド
BG ブルガリア	GM ガンビア	MC モナコ	TG チャゴス
BJ ベナン	GN ギニア	MD モルドバ	TJ ダジキスタン
BR ブラジル	GW ギニア・ビサオ	MG マダガスカル	TZ タンザニア
BY ベラルーシ	GR ギリシャ	MK マケドニア旧ユーゴスラヴィア	TM トルクメニスタン
CA カナダ	HR クロアチア	共和国	TR トルコ
CF 中央アフリカ	HU ハンガリー	ML マリ	TT トリニダッド・トバゴ
CG コンゴ	ID インドネシア	MN モンゴル	UA ウクライナ
CH スイス	IE アイルランド	MR モーリタニア	UG ウガンダ
CI コートジボアール	IL イスラエル	MW マラウイ	US 米国
CM カメルーン	IN インド	MX メキシコ	UZ ウズベキスタン
CN 中国	IS アイスランド	NE ニジェール	VN ヴィエトナム
CR コスタ・リカ	IT イタリア	NL オランダ	YU ユーゴスラビア
CU キューバ	JP 日本	NO ノールウェー	ZA 南アフリカ共和国
CY キプロス	KE ケニア	NZ ニュー・ジーランド	ZW ジンバブエ
CZ チェコ	KG キルギスタン	PL ポーランド	
DE ドイツ	KP 北朝鮮	PT ポルトガル	
DK デンマーク	KR 韓国	RO ルーマニア	

明 細 書

露光方法、露光装置、フォトマスク、フォトマスクの製造方法、 マイクロデバイス、及びマイクロデバイスの製造方法

技術分野

本発明は、露光方法、露光装置、フォトマスク、フォトマスクの製造方法、マイクロデバイス、及びマイクロデバイスの製造方法に関する。

背景技術

半導体集積回路、液晶表示素子、薄膜磁気ヘッド、撮像素子等のマイクロデバイスを製造するためのフォトリソグラフィ工程においては、フォトレジストが塗布された半導体ウエハやガラスプレート（以下、感光基板ともいう。）にフォトマスクのパターンを転写することが行われるが、この種の投影露光装置として、従来よりステップ・アンド・リピート式露光装置（ステッパ）が広く用いられている。このステップ・アンド・リピート式露光装置は、フォトマスクのパターンをウエハの各ショット領域に一括して縮小投影することにより露光するもので、一つのショット領域の露光を終了すると、ウエハを移動して次のショット領域の露光を行い、これを順次繰り返す方式である。

また、マスクパターンの露光範囲を拡大するために、照明系からの露光光をスリット状（例えば、矩形状）に制限し、このスリット光を用いてマスクパターンの一部をウエハ上に縮小投影した状態で、マスクとウエハとを投影光学系に対して同期走査させるステップ・アンド・スキャン式露光装置も開発されている。このステップ・アンド・スキャン式露光装置（スキャニング・ステッパ）は、一回の走査露光でマスク全面のパターンを等倍でウエハの全面に転写するアライナーの転写方式の長所と、上述したステッパの転写方式の長所とを兼ね備えたものである。なお、このようなステップ・アンド・リピート式あるいはステップ・アンド・スキャン式の縮小投影型露光装置で使用されるフォトマスクは、レチクルとも呼ばれている。

このような露光装置に使用されるフォトマスクは、従来は、フォトマスク用の基板上に電子ビーム描画装置、又はレーザビーム描画装置を用いて原版パターンを描画することによって製造されていた。即ち、その基板上にマスク材料を形成してレジストを塗布した後、電子ビーム描画装置、又はレーザビーム描画装置を用いてその原版パターンが描画される。その後、そのレジストの現像を行って、エッチング処理等を行うことによって、そのマスク材料によってその原版パターンが形成されていた。この場合、そのフォトマスクを使用する縮小投影型の露光装置の縮小倍率を $1/\beta$ 倍とすると、そのフォトマスクに描画される原版パターンは、デバイスのパターンを β 倍に拡大したパターンでよいため、描画装置による描画誤差は、デバイス上ではほぼ $1/\beta$ 倍に縮小される。従って、実質的に描画装置による解像力のほぼ $1/\beta$ 倍の解像力でデバイスのパターンを形成できることになる。

上述したようなフォトマスクを用いてマイクロデバイスを製造する投影露光装置（以下、デバイス露光装置という場合がある）においては、投影光学系のディストーションやコマ収差等の収差、投影倍率誤差、フォトマスクのパターンの描画誤差、フォトマスクの投影光学系に対するローテーションやシフトなどの位置ずれ、フォトマスクのステージへの保持に伴うたわみ等の変形誤差、その他の誤差が存在し、デバイス製造用の基板上に形成されるパターンの位置や形状に誤差を生じ、製造されるマイクロデバイスの特性を劣化させるという問題があった。

また、上記の如く従来は、フォトマスクの原版パターンは電子ビーム描画装置、又はレーザビーム描画装置によって描画されていた。これらの描画装置は、制御用のコンピュータからの描画データに基づいて直接その原版パターンを描画している。ところが、最近のLSI等のデバイスは大面積化すると共に、微細度及び集積度が益々向上しているため、その露光に必要なフォトマスクの原版パターンも大面積化し、かつ微細化している。更に、フォトマスクとしては、二重露光用で不要なパターンの転写を防ぐための補正パターンを設けたレチクル、及び隣接するパターン間に位相シフタを設けたいわゆる位相シフトレチクル等も使用されることがあるが、これらの特別なフォトマスクでは描画データの量が他のフォトマスクに比べて多くなる傾向がある。これらより、フォトマスクを製造するため

の描画装置で必要となる描画データは莫大な量となっている。

そのため、その描画装置によって 1 枚のフォトマスクの原版パターンを描画するのに要する描画時間は、最近では 10 時間から 24 時間位にもなって来ている。このような描画時間の長時間化は、フォトマスクの製造コスト上昇の一因となっている。

これに関して、電子ビーム描画装置では、電子ビーム特有の後方散乱の影響による近接効果の補正を行う必要があり、更に基板の表面の帶電による基板の周辺での電界むらの補正を行う必要もある。そのため、設計通りの原版パターンを描画するためには、予め描画位置の誤差等の測定を種々の条件で行っておき、描画時に複雑な補正を高精度に、かつ安定に行う必要がある。しかしながら、上記のように非常に長い描画時間中にそのような複雑な補正を高精度に、かつ安定に継続して行うのは困難であり、描画中に描画位置のドリフトが生じたりするという不都合があった。また、描画を中断してキャリブレーションを行うことも可能であるが、これによって全体の描画時間が更に長くなるという不都合もある。

更に、電子ビーム用のレジストの解像力等の特性はあまり向上しておらず、今後も急速に特性が向上することはないと考えられる。そのため、今後半導体素子等のパターンルールが更に微細化して来ると、1枚のフォトマスクの原版パターンの描画時間が長くなり過ぎると共に、電子線レジストの解像力も限界に近付いて、必要な描画精度が得られなくなる恐れがある。また、制御用のコンピュータにおける描画データの量も、1回の描画で使用するのは困難である程莫大になりつつある。

一方、レーザビーム描画装置は、紫外域のレーザビームを用いて原版パターンを描画するものであり、電子ビーム描画装置と比べて高い解像力の得られるレジストを使用できると共に、後方散乱による近接効果が無いという利点がある。しかしながら、レーザビーム描画装置の解像力は、電子ビーム描画装置に比べると劣っている。また、レーザビーム描画装置においても、原版パターンを直接描画する方式であるため、描画データの量は莫大となってデータ処理が困難になりつつあると共に、描画時間が極めて長時間になるため、描画位置のドリフト等によって必要な描画精度が得られなくなる恐れがある。

さらに、マスターマスクに形成されたパターンをフォトマスク用の基板（ブランクス）に投影光学系を介して転写形成する投影露光装置（以下、レチクル露光装置という場合がある）によりワーキングマスクを製造することもあるが、上述のマイクロデバイスを製造するためのデバイス露光装置と同様の問題、即ち、投影露光装置のディストーションやコマ収差等の収差、投影倍率誤差、マスターマスクのパターンの描画誤差（原版描画誤差）、マスターマスクの投影光学系に対するローテーションやシフトなどの位置誤差、マスターマスクのステージへの保持によるたわみ等の変形誤差、その他の誤差により、ブランクス上に形成されるパターンの位置や形状に誤差を生じ、特に画面継ぎが行われる部分でのパターンの連続性や周期性が悪くなり、製造されるフォトマスクの精度を劣化させ、このようなフォトマスクを用いて製造されるマイクロデバイスの精度を劣化させるという問題があった。

また、フォトマスクを実際に投影露光装置に装着して、そのフォトマスクのパターンを投影光学系を介してウェハ等のデバイス基板上に投影する場合、フォトマスクのパターンのデバイス基板の表面における投影像は、フォトマスクの保持に伴う撓み、基準配置面（投影光学系の物体面）に対する傾き、位相シフト等により変形し、投影光学系のディストーションや像面湾曲等の収差により変形し、場合によってはデバイス基板の撓み等によっても変形することがあり、デバイス基板上に理想像（理想パターン）に対して歪んだパターンが転写形成されてしまう。その結果、パターンの重ね合わせ誤差等が増大して、製造されるマイクロデバイスの特性を劣化させる場合がある。また、投影光学系の結像特性は投影露光装置毎に微妙に異なっているため、できれば投影露光装置毎の投影像を補正できることが望ましい。

ここで、投影光学系の収差については、ガラスプレートや収差補正板を光路上に配置したり、投影光学系を構成するレンズを微動する機構を設けたり、あるいは投影光学系のレンズ間の気体室を密封してその圧力や気体の組成を変化せたりする技術が用いられることがあるが、そのような技術によっても除去しきれずに残存する収差を補正し、あるいはより簡単な構成で露光精度を向上する必要がある。

また、電子ビーム描画装置やレーザービーム描画装置を使用してフォトマスクを製造すると、フォトマスクのアライメントマークと描画された原版パターンとの間に、描画誤差等によってローテーション（回転）やオフセット（位置ずれ）等の誤差が生じることがある。従って、フォトマスクのアライメントマークを用いてフォトマスクをデバイス基板（ウエハ）に対して完全に整合させてパターンの転写露光を実施したとしても、フォトマスクのアライメントマークとその原版パターンとの間に誤差が残存しているため、デバイス基板上に転写されたパターンにローテーションやオフセットを生じ、パターンの重ね合わせ精度を劣化させる等、製造されるマイクロデバイスの特性を劣化させる場合があるという問題があった。

なお、ローテーションやオフセット等の誤差を低減する方法としては、描画装置の基本精度を向上することは勿論として、それ以外には、同一パターンを複数回に渡って重ねて描画することにより平均化することが考えられるが、通常でも描画時間が数時間から数十時間を要するのに、更に複数回の描画により大幅に描画時間を増大させるため、現実的ではない。また、このような原版パターンとフォトマスクのアライメントマークとの間に生じているローテーションやオフセット等の誤差を予め計測しておき、デバイス基板に対して露光を行う際に、デバイス基板の位置等を該計測値を用いて補正することが行われる場合もあるが、処理が複雑であるとともに、精度的にも十分ではなかった。

発明の開示

よって本発明の目的は、高精度、高品質なマイクロデバイスを製造することである。

また、本発明の他の目的は、高精度、高品質なフォトマスクを短時間で高効率的に製造することである。

1. 本発明の第1の観点によると、マスク（R_i）に形成されたパターン（P_i）を投影光学系（3）を介して感光基板（4）上に投影露光する方法において、前記投影光学系による投影像の位置を計測し、前記投影像の位置の理想位置からのずれ量が小さくなるように結像特性を補正した状態で前記マスクのパターンを

投影露光することを特徴とする露光方法が提供される。

本発明の露光方法によれば、投影光学系による投影像の理想位置からのずれ量が小さくなるように結像特性を補正するようにしたから、投影光学系のディストーションやコマ収差等の収差、投影倍率誤差、マスクに形成されているパターンの誤差、マスクの投影光学系に対するローテーションやシフトなどの位置ずれ、マスクの保持に伴うたわみ等の変形誤差などに基づく感光基板上に形成されるパターンの位置や形状に生じる誤差を小さくすることができ、高精度、高品質なマイクロデバイスやフォトマスクなどの製造が可能となる。

なお、結像特性の補正方法としては各種のものがあり、特に限定はされないが、例えば、投影光学系を構成するレンズを微動する機構を設けたり、くさび状のガラスプレートなどの収差補正板を光路上に挿入したり、投影光学系のレンズ間の気体室を密封してその圧力や気体の組成を変化させたり、あるいはマスクや感光基板を投影光学系の物体面に対して傾斜させたりすることなどにより行うことができる。

2. 本発明の第2の観点によると、マスク (R i) に形成されたパターン (P i) を投影光学系 (3) を介して感光基板 (4) 上に投影露光する方法において、前記マスクに第1マーク (53) を形成し、第2マーク (64, 65, 66) 及び前記第1マークに対応する第3マーク (63) を形成してなる管理用基準マスク (60) の該第2マークの前記投影光学系による投影像の位置を計測して第2像位置とし、前記第2像位置の理想位置からのずれ量が小さくなるように結像特性を予備的に補正した状態での前記第3マークの前記投影光学系による投影像の位置を求めて第3像位置とし、前記マスクの前記第1マークの前記投影光学系による投影像の位置を計測して第1像位置とし、前記第1像位置が前記第3像位置に対して所定の位置関係となるように結像特性を補正した状態で前記マスクのパターンを投影露光することを特徴とする露光方法が提供される。

まず、マイクロデバイスを製造するためのワーキングマスク又は該ワーキングマスクを製造するためのマスターマスクとしてのマスクに第1マークを形成する。そして、この第1マークに対応する位置（例えば、相対する位置）に第3マークが形成されるとともに、該第1マークに対応しない位置に第2マークが形成され

た管理用基準マスクを該マスクとは別に準備する。

次に、管理用基準マスクの第2マークの投影光学系による投影像の位置（例えば、投影光学系の光軸に直交する面内での位置）を計測する。この計測した第2マークの像位置を第2像位置という。その後、第2像位置の理想位置（理想格子）からのずれ量を求めて、このずれ量が小さくなるように、例えば、投影倍率などを調整することにより結像特性を補正して、このときの第3マークの像位置を計測することにより求める。この計測した第3マークの像位置を第3像位置という。この第3像位置は、結像特性の補正前の第3マークの像位置を計測しておき、この計測値から計算により求めることもできる。これにより、パターン領域（第1領域）における結像特性が好適に補正された状態での第3マークの像位置が求められたことになり、ここまでが前準備となる。

次に、マスクの第1マークの投影光学系による投影像の位置を計測する。この計測した第1マークの像位置を第1像位置という。そして、この第1像位置が前記第3像位置に対して所定の位置関係となるように（例えば、実質的に一致するように）結像特性を補正する。このように結像特性を補正することにより、管理用基準マスクを用いて第2マーク（パターン領域に相当する第1領域に形成されたマーク）の像位置が理想位置に近づくように補正したときの結像特性を再現することができる。従って、この状態で、マスクのパターンを感光基板上に転写することにより、パターンの位置や形状に歪みなどの誤差が少なく、理想パターンに近い高精度なパターンを形成することができるようになる。

3. 本発明の第3の観点によると、転写用のパターン（27）を拡大したパターンを複数枚のマスク（R_i）のパターンに分割し、感光基板（4）の表面に複数枚の前記マスクのパターン（P_i）の投影光学系（3）による縮小像を画面継ぎを行いながら順次投影露光する方法であって、前記マスクのパターンが形成されたパターン領域（51）の周辺領域（52）に第1マーク（53）をそれぞれ形成し、前記マスクの前記パターン領域に相当する第1領域（61）に複数の第2マーク（64, 65, 66）を形成するとともに、前記マスクの前記周辺領域に相当する第2領域（62）に前記第1マークに相対する第3マーク（63）を形成してなる管理用基準マスク（60）の該第2マークの前記投影光学系による

投影像の位置をそれぞれ計測して第2像位置とし、前記第2像位置の理想位置からのずれ量が小さくなるように結像特性を予備的に補正した状態での前記第3マークの前記投影光学系による投影像の位置を求めて第3像位置とし、前記マスクの前記第1マークの前記投影光学系による投影像の位置を計測して第1像位置とし、前記第1像位置が前記第3像位置に一致又は近接するように結像特性を補正した状態で前記マスクのパターンを順次投影露光することを特徴とする露光方法が提供される。

なお、本願明細書中において、「画面継ぎ」とは、基板上において、一の露光処理による処理領域と他の露光処理による処理領域の一部を重ね合わせて露光処理することをいい、パターン（ライン）に沿う方向に画面継ぎ（ラインを接続）する場合と、パターン（ライン）に交差する方向に画面継ぎ（ラインを配列）する場合の双方が含まれる。

かかる本発明によれば、転写用のパターンを拡大したパターンを複数枚のマスクのパターンに分割し、感光基板の表面に複数枚の前記マスクのパターンの投影光学系による縮小像を画面継ぎを行いながら順次投影露光するようにしている。マイクロデバイスの製造に使用するフォトマスク（ワーキングマスク）を製造する際には、一例として、フォトマスク用の基板としてのマスク基板（ブランクス）上にマスク材料の薄膜が形成され、この上にフォトレジスト等の感光材料が塗布される。その後、その感光材料上に例えば光学式で縮小投影型の露光装置を用いて、ステップ・アンド・リピート方式、又はステップ・アンド・スキャン方式で複数枚の親マスク（マスターマスク）のパターンの縮小像が転写された後、その感光材料の現像が行われる。それから、残された感光材料のパターンをマスクとしてエッチング等を行うことによって、所望の転写用のパターン（原版パターン）が形成される。

この際に、フォトマスク製造用の例えば光学式の露光装置の縮小倍率を $1/\alpha$ 倍（ α は1より大きい整数、半整数等）とすると、その転写用のパターン、即ち原版パターンは α 倍に拡大され、この拡大された親パターンが縦横に例えば $\alpha \times \alpha$ 枚の親マスクのパターンに分割される。縮小倍率が $1/5$ 倍（ $\alpha=5$ ）であれば、 5×5 倍で25枚の親マスクが用意される。この結果、各親マスクに形成さ

れるパターンは、原版パターンを α 倍に拡大した親パターンの一部となるため、各親マスクのパターンの描画データ量は従来の $1/\alpha^2$ 程度に減少し、最小線幅は従来の α 倍となる。従って、各親マスクのパターンはそれぞれ例えば従来の電子ビーム描画装置、又はレーザビーム描画装置を用いて短時間に、少ないドリフトで高精度に描画できる。また、描画装置による描画誤差は、そのフォトマスク上では $1/\alpha$ に減少するため、原版パターンの精度はより向上する。更に、一度これらの親マスクを製造した後は、これらの親マスクのパターンをステップ・アンド・リピート方式等でそのフォトマスクの基板上に高速に転写できるため、特にそのフォトマスクを複数枚製造する場合の製造時間を、従来のように個々に描画装置で描画する方式に比べて大幅に短縮できる。

また、親マスクのパターンの形成においてその一部にミスがあった場合や原版パターンの一部に事後的に変更が生じた場合には、該ミスがあった一部を含む親マスク又は変更部分を含む親マスクのみを修正又は再製造すれば良く、複数の親マスクの全体に影響しないため、そのような場合にも高効率的に対応することができる。

なお、上記はワーキングマスクの製造の場合について説明しているが、複数枚のワーキングマスクのパターンを、デバイス基板（ウエハやガラスプレート）の表面に画面継ぎを行いながら順次投影露光してマイクロデバイス（例えば、液晶表示装置）を製造する場合も同様である。

ここで、このような画面継ぎを行いながら順次投影露光する場合には、各マスクにより転写されたパターンの特に接続部分での位置的精度あるいは形状的精度が製造されるマイクロデバイスなどの特性に大きく影響するので、パターンの位置的あるいは形状的な精度が高いことは極めて重要である。

そこで、本発明の露光方法においては、上述した本発明の第2の観点による露光方法と同様に、まず、マイクロデバイスを製造するためのワーキングマスク又は該ワーキングマスクを製造するためのマスターマスクとしてのマスクの周辺領域（転写すべきパターンが形成されたパターン領域の外側の領域）に第1マークを形成する。そして、この第1マークに対応する位置（例えば、相対する位置）に第3マークが形成されるとともに、パターン領域に相当する領域に第2マーク

が形成された管理用基準マスクを該マスクとは別に準備する。

次に、管理用基準マスクの第2マークの投影光学系による投影像の位置（例えば、投影光学系の光軸に直交する面内での位置）を計測する。この計測した第2マークの像位置を第2像位置という。その後、第2像位置の理想位置（理想格子）からのずれ量を求めて、このずれ量が小さくなるように、例えば、投影倍率などを調整することにより結像特性を補正して、このときの第3マークの像位置を計測することにより求める。この計測した第3マークの像位置を第3像位置という。この第3像位置は、結像特性の補正前の第3マークの像位置を計測しておき、この計測値から計算により求めることもできる。これにより、パターン領域（第1領域）における結像特性が好適に補正された状態での第3マークの像位置が求められたことになり、ここまでが前準備となる。

次に、マスクの第1マークの投影光学系による投影像の位置を計測する。この計測した第1マークの像位置を第1像位置という。そして、この第1像位置が前記第3像位置に対して一致又は近接するように結像特性を補正する。このように結像特性を補正することにより、管理用基準マスクを用いて第2マーク（パターン領域に相当する第1領域に形成されたマーク）の像位置が理想位置に近づくよう補正したときの結像特性を再現することができる。従って、この状態で、マスクのパターンを感光基板上に転写することにより、パターンの位置や形状に歪みなどの誤差が少なく、理想パターンに近い高精度なパターンを形成することができるようになる。

4. 本発明の第4の観点によると、マスク（R*i*）に形成されたパターン（P*i*）を投影光学系（3）を介して感光基板（4）上に投影露光する方法において、前記マスクのパターンが形成されたパターン領域（51）の周辺領域（52）にまで該パターンの一部または全てを至らしめて、該パターンの該周辺領域に存する部分を空間像計測用のマーク部（73）とし、前記マスクの前記マーク部の前記投影光学系による投影像の位置を空間像計測方法により計測し、前記マーク部の像位置の理想位置からのずれ量が最小となるように、結像特性を補正するとともに、前記マーク部をブラインドにより遮光した状態として前記マスクのパターンを投影露光することを特徴とする露光方法が提供される。

かかる本発明の露光方法によれば、パターンの一部または全てを周辺領域にまで至らしめて、この部分をマーク部として、その投影像の位置を計測して結像特性の補正を行うようにしたから、特にパターン領域の周辺領域との境界部分の近傍におけるパターンの精度が高く、複数のマスクのパターンを画面継ぎを行いつつ順次基板上に投影露光する場合などに一のマスクを用いて形成されたパターンとこれに隣接する他のマスクを用いて形成された他のパターンとの接続部の連続性（例えば、ライン・アンド・スペース（L/S）パターンの場合の該ラインに沿う方向に接続する場合の連続性）や周期性（例えば、L/Sパターンの場合の該ラインに直交する方向の配列の周期性）を極めて良好にすることができる。

また、マークの投影像を計測する場合に、マークの形状とパターンの形状（例えば、太さ）が異なると、計測方法にもよるが、例えば空間像計測方法により計測した場合には、コマ収差やディストーションに差を生じることがあり、本発明ではマーク部はパターン領域のパターンと同一形状であるから、かかる問題も生じない。なお、マーク部は露光処理時にはブラインドにより遮光するようしているから、当該マーク部が感光基板上に転写されることはない。

5. 本発明の第5の観点によると、転写用のパターン（27）を拡大したパターンを複数枚の親マスク（R1～RN）のパターンに分割し、マスク基板（4）の表面に複数枚の前記親マスクのパターンの投影光学系による縮小像を画面継ぎを行なながら順次投影露光する方法であって、前記マスク基板上の実投影点（β1）の理想投影点（α1）に対する変位を求め、求めた変位に基づき前記親マスクに形成するパターン（36）の少なくとも一部を歪ませる、又は前記投影光学系の物体面側での前記親マスクのパターンの位置をシフトさせることを特徴とする露光方法が提供される。

ここで、求める変位は、前記親マスクのパターンの変形（該親マスクの保持に伴う撓み、基準配置面（投影光学系の物体面）に対する傾き、位相シフト等により生じる変形）、前記投影光学系の収差（ディストーション、像面湾曲、非点収差、コマ収差、球面収差等）、及び前記マスク基板の変形（撓み等）のうちの少なくとも1つにより生じる変位とすることができる。

かかる本発明によれば、マスク基板上の実投影点（β1）の理想投影点（α1）

に対する変位を求め、求めた変位に基づき親マスクに形成するパターン（36）を歪ませて形成するようにしている。例えば、親マスク上に所定のサンプリング点（ α_0 ）を定め、該サンプリング点に対応するマスク基板上の理想投影点（ α_1 ）に対する実投影点（ β_1 ）の変位（位置ずれ）を理論的に計算し、又は親マスク上の複数のマークの投影位置をセンサなどで計測する、あるいは実際に露光処理を実施して計測器等によりその転写像の変位を計測すること等により求め、これに基づきマスク基板（4）上でのパターンの像の歪みを求めて、この歪みが実質的になくなるように、親マスクに形成すべき元のパターン（設計上のパターン）を歪ませる、即ち、該設計上のパターンのデータを補正して形成（描画）する。

当該サンプリング点は、該設計上のパターンに沿って適宜なピッチで、あるいは理想格子に従って複数選点することができ、設計上のパターンの各点におけるデータの補正值は、求めた変位に基づき最小二乗法やその他の近似方法、例えば補正值マップを作成し、そのデータを使用して補間することにより求めることができる。このように、理想投影像に実投影像が実質的に一致するよう元のパターン（設計上のパターン）を歪ませるようにしているから、例えば、投影光学系の収差等が残存していたとしても、マスク基板上に理想像に近いパターンを投影転写することができ、高精度、高品質なフォトマスクを製造することができる。なお、パターンの少なくとも一部を歪ませる代わりに、投影光学系の物体面側でのパターン位置をシフトさせてもよいし、あるいは両者を併用してもよい。

上記のようなフォトマスクを製造するための露光方法を用いて製造された本発明のフォトマスクは、理想像に近いパターンが形成されているので、高精度、高品質であり、このようなフォトマスク（ワーキングマスク）を用いてデバイス基板の露光処理を行うことにより、パターンの重ね合わせ精度を向上でき、優れた特性を有するマイクロデバイスを製造することができる。

6. 本発明の第6の観点によると、マスターマスクのパターンの像を第1投影光学系（3）によりマスク基板（4）上に投影してワーキングマスク（34）を製造し、該ワーキングマスクのパターンの像を第2投影光学系（42）によりマイクロデバイスが形成されるデバイス基板（W）上に投影露光する方法において、

前記マスク基板上の実投影点 (β_1) の理想投影点 (α_1) に対する変位及び前記デバイス基板上の実投影点 (β_1) の理想投影点 (α_1) に対する変位の少なくとも一方を求め、求めた変位に基づき前記マスターマスクに形成するパターン (36) の少なくとも一部を歪ませる、又は前記第1投影光学系の物体面側での前記マスターマスクのパターン位置をシフトさせることを特徴とするマイクロデバイスを製造するための露光方法が提供される。

この場合において、転写用のパターン (27) を拡大したパターンを複数枚の前記マスターマスク (R1 ~ RN) のパターンに分割し、前記マスク基板 (4) の表面に複数枚の前記マスターマスクのパターンの縮小像を画面継ぎを行いながら順次転写するようである。

ここで、求める変位としては、マスターマスクのパターンの変形（マスターマスクの保持に伴う撓み、基準配置面（第1投影光学系の物体面）に対する傾き、位相シフト等により生じる変形）、第1投影光学系の収差（ディストーション、像面湾曲、非点収差、コマ収差、球面収差等）、マスク基板の撓み等の変形、ワーキングマスクのパターンの変形（ワーキングマスクの保持に伴う撓み、基準配置面（第2投影光学系の物体面）に対する傾き、位相シフト等により生じる変形）、及び第2投影光学系の収差（ディストーション、像面湾曲、非点収差、コマ収差、球面収差等）のうちの少なくとも1つにより生じる変位とすることができる。

本発明のマイクロデバイスを製造するための露光方法によると、マスク基板上の実投影点 (β_1) の理想投影点 (α_1) に対する変位（第1の変位とする）及び前記デバイス基板上の実投影点 (β_1) の理想投影点 (α_1) に対する変位（第2の変位とする）の少なくとも一方を求め、求めた変位に基づきマスターマスクに形成するパターン (36) を歪ませて形成するようにしている。

前記第1の変位を求めてパターンを歪ませる場合には、マスターマスク（親マスク）上に所定のサンプリング点 (α_0) を定め、該サンプリング点に対応するマスク基板上の理想投影点 (α_1) に対する実投影点 (β_1) の変位（位置ずれ）を理論的に計算し、あるいは実際に露光処理を実施して計測器等により計測すること等により求め、これに基づきマスク基板 (4) 上でのパターンの像の歪みを求めて、この歪みが実質的になくなるように、マスターマスクに形成すべき元の

パターン（設計上のパターン）を歪ませる、即ち、該設計上のパターンのデータを補正して形成（描画）する。

また、前記第2の変位を求めてパターンを歪ませる場合、又は前記第1及び第2の変位の双方を求めてパターンを歪ませる場合には、マスターマスク又はワーキングマスク上に所定のサンプリング点（ α_0 ）を定め、該サンプリング点に対応するデバイス基板（W）上の理想投影点（ α_1 ）に対する実投影点（ β_1 ）の変位（位置ずれ）を理論的に計算し、あるいは実際に露光処理を実施して計測器等により計測すること等により求め、これに基づきデバイス基板上のパターンの像の歪みを求めて、この歪みが実質的になくなるように、マスターマスクに形成すべき元のパターン（設計上のパターン）を歪ませる、即ち、該設計上のパターンのデータを補正して形成（描画）する。

当該サンプリング点は、該設計上のパターンに沿って適宜なピッチで、あるいは理想格子に従って複数選点することができ、設計上のパターンの各点におけるデータの補正值は、求めた変位に基づき最小二乗法やその他の近似方法で補間することにより求めることができる。このように、理想投影像に実投影像が実質的に一致するようにワーキングマスクに形成すべき元のパターン（設計上のパターン）を歪ませるようにしているから、例えば、投影光学系に収差等が残存していたとしても、デバイス基板上に理想像に近いパターンを投影転写することができ、高精度、高品質なマイクロデバイスを製造することができる。なお、パターンの少なくとも一部を歪ませる代わりに、投影光学系の物体面側でのパターン位置をシフトさせてもよいし、あるいは両者を併用してもよい。

上記のようなマイクロデバイスを製造するための露光方法を用いて製造された本発明のマイクロデバイスは、理想像に近いパターンが形成されているので、パターンの重ね合わせ精度を向上でき、優れた特性を有する。

7. 本発明の第7の観点によると、転写用のパターン（27）の形成されたフォトマスク（34）の製造方法において、前記転写用のパターンを拡大したパターンを複数枚の親マスク（R1～RN）のパターンに分割し、フォトマスク用の基板（4）の表面にアライメントマーク（24A, 24B）を形成し、前記アライメントマーク（24A, 24B）を用いて前記フォトマスク用の基板（4）と

前記親マスク（R 1～RN）とを位置合わせしつつ、前記フォトマスク用の基板（4）の表面に複数枚の前記親マスク（R 1～RN）のパターンの縮小像を画面継ぎを行いながら順次転写することを特徴とするフォトマスクの製造方法が提供される。

かかる本発明によれば、フォトマスク用の基板上にはアライメントマークが形成されており、親マスクのパターンを該フォトマスク用の基板上に投影転写する際に、該アライメントマークを用いて該親マスクと該フォトマスク用の基板を位置合わせ（アライメント）するようにしたから、フォトマスク用の基板上に転写されるパターンは該アライメントマークと正確に位置合わせされた状態となり、従来のようにアライメントマークとパターンとの間にローテーションやオフセット等の誤差が生じることが少なく、従って、品質の高いフォトマスクを製造することができる。

上記のようなフォトマスクの製造方法を用いて製造された本発明のフォトマスクは、その表面に形成されているアライメントマークとパターンとの間にローテーションやオフセット等の誤差が少なく、高精度かつ高品質である。

そして、このような高精度、高品質なフォトマスクを用いてデバイス用の基板にパターンの転写露光を行うときには、フォトマスク（34）の当該アライメントマーク（24A, 24B）を用いて、該フォトマスクと前記デバイス用の基板（W）とを位置合わせする。フォトマスク上に形成されているアライメントマークは、該フォトマスクを製造するためにフォトマスク用の基板上に親マスクのパターンを転写する際に位置合わせに使用したものであり、その時のアライメントマークと同じアライメントマークを使用して、デバイス用の基板にパターンを転写する際の位置合わせを行うようにしている。従って、それぞれ独立にアライメントマークを形成するもの等と比較して誤差の入る余地が少なく、デバイス用の基板上に形成されるパターンの位置的精度を向上することができ、ひいては特性が良好なマイクロデバイスを製造することができる。

なお、この場合、その基板（4）の表面に複数枚の親マスク（R 1～RN）のパターンの縮小像を順次転写する際に、そのフォトマスクの用途（使用される露光装置の方式等）に応じて一括露光型の縮小投影型露光装置、又は走査露光型の

縮小投影型露光装置を使い分けることが望ましい。例えばそのフォトマスクがステップ・アンド・スキャン方式のような走査露光型の縮小投影型露光装置で使用される場合、投影像には平行四辺形状の歪（いわゆるスキー誤差）等が生じることがある。この場合、一括露光型ではスキー誤差は補正しにくいため、そのフォトマスクの基板に複数枚の親マスクのパターンを転写する際に、走査露光型の投影露光装置を用いて、そのスキー誤差を相殺するような歪を与えることによって、そのフォトマスクを使用した際の歪を低減できるため、重ね合わせ誤差等が小さくなる。

また、その基板（4）の表面に複数枚の親マスク（R₁～R_N）のパターンの縮小像を順次転写する際に、そのフォトマスクを使用する投影露光装置の投影光学系（42）の非回転対称収差とディストーション特性との少なくとも一方に応じてその親マスク（R₁～R_N）のパターンの縮小像の結像特性（転写位置、倍率、ディストーション等）をそれぞれ補正することが望ましい。

このように、そのフォトマスクを使用する露光装置の所定の結像特性の変動量が予め分かっている場合には、そのフォトマスクの基板上に画面継ぎを行いながら各親マスクのパターン像を転写する際に、その結像特性の変動量を相殺するよう各親マスクのパターン像の転写位置、倍率、更にはディストーション等を調整することで、最終的にそのフォトマスクを用いて露光されるデバイスパターンの歪等が小さくなり、重ね合わせ精度等が向上する。

これに関して、そのフォトマスクを多数枚製造して、これらのフォトマスクをミックス・アンド・マッチ方式等で複数台の投影露光装置で使用する場合もある。この場合に、それぞれの投影露光装置で良好な重ね合わせ精度が得られるように、それらのフォトマスクを使用する予定の少なくとも2台の投影露光装置の投影像のディストーション特性等の平均的な特性に応じて、各親マスクのパターンをつなぎ合させて転写する際の転写位置や像特性等を調整することが望ましい。

次に、そのフォトマスクは更に縮小投影で使用されることが望ましい。そのフォトマスクは、例えば $1/\beta$ 倍（ β は1より大きい整数、又は半整数等）の縮小投影で使用されるものとして、そのフォトマスクを製造するための露光装置の縮小倍率を $1/\alpha$ 倍（ α は β と同様に1より大きい整数、又は半整数等）であると

すると、各親マスクのパターンの描画誤差は、最終的に露光されるデバイスパターン上で $1 / (\alpha \cdot \beta)$ 倍に縮小される。従って、デバイスパターンの最小線幅を仮に現在の $1 / 2$ にするような場合にも、各親マスクのパターンを電子ビーム描画装置、又はレーザビーム描画装置等を用いて必要な精度で容易に、かつ短時間に描画できる。従って、パターンルールが更に微細化しても、必要な精度で所望のデバイスパターンを露光できる。

8. 本発明の第8の観点によると、複数枚の親マスク (R 1～RN) を収納するマスク収納装置 (16～18) と、該マスク収納装置から選択された1枚の親マスクが載置されるマスクステージ (2) と、該マスクステージ上の親マスクのパターンの縮小像をアライメントマーク (24A, 24B) が形成されたフォトマスク用の基板 (4) 上に投影する投影光学系 (3) と、前記フォトマスク用の基板を前記投影光学系の光軸に垂直な平面上で位置決めする基板ステージ (6) と、前記複数枚の親マスクのパターンの縮小像の画面継ぎを前記フォトマスク用の基板上で行うために、前記基板ステージ上の前記フォトマスク用の基板の前記アライメントマークを用いて、前記マスクステージ上の前記親マスクと前記基板ステージ上の前記フォトマスク用の基板との位置合わせを行うアライメント系 (14A, 14B) とを有するフォトマスク製造用の露光装置が提供される。

かかるフォトマスク製造用の露光装置を用いることによって、本発明の第7の観点によるフォトマスクの製造方法が実施できる。フォトマスク用の基板上にはアライメントマークが形成されており、親マスクのパターンを該フォトマスク用の基板上に転写する際に、アライメント系により該アライメントマークを用いて該親マスクと該フォトマスク用の基板を位置合わせするようにしたから、フォトマスク用の基板上に転写されるパターンは該アライメントマークと正確に位置合わせされた状態となり、従来のようにアライメントマークとパターンとの間にローテーションやオフセット等の誤差が生じることが少なく、従って、品質の高いフォトマスクを製造することができる。

この場合、そのマスク収納装置には一例として、製造対象とするフォトマスクのパターン (27) を拡大したパターンを分割したパターンがそれぞれ形成されている複数枚の親マスク (R 1～RN) が収納される。これによって、それらの

親マスクが高速に交換され、短時間に露光を行うことができる。

9. 本発明の第9の観点によると、本発明によるフォトマスク（34）上のパターンの像をデバイス用の基板（W）上に投影する露光装置において、前記フォトマスクが載置されるマスクステージと、該マスクステージ上のフォトマスクのパターンの縮小像を前記デバイス用の基板上に投影する投影光学系（42）と、前記デバイス用の基板を前記投影光学系の光軸（AX1）に垂直な平面上で位置決めする基板ステージ（44）と、前記フォトマスクのパターン（27）を前記デバイス用の基板上に投影するために、前記マスクステージ上の前記フォトマスクの前記アライメントマーク（24A, 24B）を用いて、前記マスクステージ上の前記フォトマスクと前記基板ステージ上の前記デバイス用の基板との位置合わせを行うアライメント系（41A, 41B）とを有するデバイス製造用の露光装置が提供される。

かかるデバイス製造用の露光装置を用いることによって、上述した本発明の露光方法が実施できる。フォトマスク上に形成されているアライメントマークは、該フォトマスクを製造するためにフォトマスク用の基板上に親マスクのパターンを形成する際に位置合わせに使用したものであり、その時のアライメントマークと同じアライメントマークを使用してデバイス用の基板にパターンを形成する際の位置合わせを行うようになっているから、それぞれ独立にアライメントマークを形成するもの等と比較して誤差の入る余地が少なく、デバイス用の基板上に形成されるパターンの位置的精度を向上することができ、ひいては特性が良好なマイクロデバイスを製造することができる。

また、かかる本発明によれば、そのデバイス用の基板（W）上に形成されるデバイスのパターンからそのフォトマスクのパターン（27）への倍率を β 倍（ β は1より大きい整数、半整数等）、そのフォトマスクのパターンからその親マスクのパターン（36）への倍率を α 倍（ α は β と同様に1より大きい整数、半整数等）とすると、それら親マスクのパターンの線幅はそのデバイスのパターンの線幅の $\alpha \cdot \beta$ 倍となる。従って、それら親マスクのパターンを電子ビーム描画装置等で描画する際の線幅の描画誤差を Δd とすると、そのデバイスのパターンの線幅の誤差はほぼ $\Delta d / (\alpha \cdot \beta)$ に低減するため、そのデバイスのパターンを

極めて高精度に形成できる。

10. 本発明の第10の観点によると、フォトマスク用の第1基板(4)上にアライメントマーク(24A, 24B)を形成し、マイクロデバイスが形成される第2基板(W)上に転写すべきデバイスパターンを複数の要素パターンに分けるとともに、前記アライメントマークを検出して得られる位置情報を用いて、前記複数の要素パターンの縮小像をそれぞれ前記第1基板上に転写して前記デバイスパターンを形成し、前記デバイスパターンが形成されたフォトマスクの前記アライメントマークを用いて前記デバイスパターンを前記第2基板上に転写するマイクロデバイスの製造方法が提供される。

このマイクロデバイスの製造方法によると、フォトマスク上に形成されているアライメントマークは、該フォトマスクを製造するために第1基板上に要素パターンを転写する際に位置合わせに使用したものであり、その時のアライメントマークと同じアライメントマークを使用して第2基板にパターンを形成する際に位置合わせを行って、パターンを転写するようにしているから、それぞれ独立にアライメントマークを形成するもの等と比較して誤差の入る余地が少なく、第2基板上に形成されるパターンの位置的精度を向上することができ、ひいては特性が良好なマイクロデバイスを製造することができる。

11. 本発明の第11の観点によると、複数のマスクを用いて、感光基板上で部分的に重畠する複数の領域にそれぞれパターンを転写する露光方法であって、前記パターンの転写時における前記複数の領域の一部での露光量を他の領域での露光量と異ならせることを特徴とする露光方法が提供される。この場合において、前記複数の領域にそれぞれ転写されるパターン像の線幅変化量に応じて前記露光量を決定するようになる。また、前記パターンの転写から前記感光基板の現像処理までの時間に応じて前記露光量を決定するようにしてもよい。これらの場合において、前記複数の領域にそれぞれ転写されるパターンは互いに異なるマスクに形成され、前記複数の領域でそれぞれ前記露光量を異ならせることもできる。

また、この露光方法を用いて、ステップアンドスティッチ方式でフォトマスク用の基板上に複数のパターンをそれぞれ転写する工程を含むフォトマスク製造方法が提供される。

さらに、この露光方法を用いて、ステップアンドスティッチ方式でデバイス用の基板上に複数のパターンをそれぞれ転写する工程を含むデバイス製造方法が提供される。

12. 本発明の第12の観点によると、マスクに照明ビームを照射するとともに、投影光学系を介して前記照明ビームで感光基板を露光する方法において、前記照明ビームの照射領域内の互いに異なる複数点でそれぞれ前記投影光学系による投影像を検出して得られる第1情報に基づいて、前記投影像の光学特性を調整し、前記光学特性が調整された状態で前記照射領域の外側の少なくとも1つの計測点で前記投影光学系による投影像を検出して得られる第2情報を記憶し、前記マスクを用いて前記照明ビームで前記感光基板を露光するために、前記第2情報をを利用して、前記投影光学系によるパターン像の特性を調整することを特徴とする露光方法が提供される。この場合において、前記マスク上で前記照射領域の外側に配置されるマークを検出し、前記第2情報と前記マークの検出によって得られる第3情報とに基づいて、前記パターン像の特性を調整するようになる。前記マークは、例えば、前記感光基板上に転写すべきパターンが形成される前記マスク上のパターン領域外で互いに異なる複数の位置にそれぞれ形成される。

前記マスクと異なる特定マスクを用いて前記第1及び第2情報を得るようにできる。この場合において、前記特定マスクとして、前記パターン領域に対応する第1領域とその外側の第2領域とにそれぞれ複数のマークが形成されたものを用い、前記第1領域のマーク検出によって前記第1情報を得るとともに、前記第2領域のマーク検出によって前記第2情報を得るようにできる。

また、この露光方法を用いて、デバイスパターンをワークピース上に転写する工程を含むデバイス製造方法が提供される。

さらに、この露光方法を用いて、複数の親マスクに形成されたパターンをステップアンドスティッチ方式でフォトマスク用の基板上に転写する工程を含むフォトマスクの製造方法が提供される。この場合において、前記投影光学系は前記親マスクのパターンを縮小投影し、前記投影光学系の投影倍率の逆数倍だけ前記フォトマスクに形成すべきデバイスパターンを拡大し、該拡大されたパターンを要素、又は機能毎に分けて前記複数の親マスクにそれぞれ形成するようになる。

13. 本発明の第13の観点によると、露光装置で使用するフォトマスクを製造する方法において、前記フォトマスクに形成すべきデバイスパターンの拡大パターンが複数に分割されてそれぞれ形成される複数の親マスクを用いて、前記フォトマスク用の基板上で部分的に重畳する複数の領域をそれぞれ露光するとともに、前記露光装置による前記親マスクの転写特性に基づいて、前記基板上での前記分割されたパターンの縮小像の形状と位置との少なくとも1つを調整することを特徴とするフォトマスクの製造方法が提供される。この場合において、前記転写特性に基づいて、前記拡大パターンから生成される前記分割されたパターンの設計データを修正し、該修正された設計データに従って前記分割されたパターンを前記親マスクに形成するようできる。また、前記転写特性に基づいて、前記分割されたパターンの縮小像を形成する投影光学系の光学特性を調整するようできる。さらに、前記分割されたパターンを前記基板上に転写するために、前記親マスクと前記基板とを同期移動して前記複数の領域をそれぞれ走査露光し、前記縮小像の形状を調整するために、前記転写特性に基づいて前記走査露光の条件を変更するようできる。

図面の簡単な説明

図1は、本発明の第1実施形態のワーキングレチクル（フォトマスク）の製造工程の説明に供する図、

図2は、本発明の第1実施形態のワーキングレチクルを製造する際に使用される光学式の縮小投影型露光装置を示す一部を切り欠いた構成図、

図3は、図2の投影露光装置において、マスターレチクルのアライメントを行う場合を示す一部を切り欠いた要部の斜視図、

図4は、図2の投影露光装置において、マスターレチクルの親パターンの縮小像を基板4上に投影する場合を示す要部の斜視図、

図5は、本発明の第1実施形態で製造されるワーキングレチクルのパターンをウエハ上に投影する投影露光装置を示す要部の斜視図、

図6Aは、本発明の第1実施形態のマスターレチクルの構成を示す平面図、

図6Bは、本発明の第1実施形態のマスターレチクルのマークの一例を示す図、

図 6 Cは、本発明の第 1 実施形態のマスターレチクルのマークの他の例を示す図、

図 7は、本発明の第 1 実施形態の空間像計測について説明するための構成図、

図 8 Aは、本発明の第 1 実施形態の空間像計測について説明するためのマークの投影像を走査する状態を示す図、

図 8 Bは、本発明の第 1 実施形態の空間像計測について説明するための光電センサの出力を示す図、

図 9は、本発明の第 1 実施形態の管理用基準マスクの構成を示す平面図、

図 10は、本発明の第 1 実施形態で使用するマスターレチクル（原版）、ブランクス（フォトマスク用の基板）及びワーキングレチクルの説明図、

図 11 Aは、本発明の第 2 実施形態のレチクルの構成を示す平面図、

図 11 Bは、本発明の第 2 実施形態のレチクルの要部拡大図、

図 12は、本発明の第 3 実施形態において、補正後のパターンが形成されたマスターレチクルを用いてワーキングレチクルを製造した場合の説明図、

図 13は、図 12 と対比するための図であり、補正前のパターンが形成されたマスターレチクルを用いてワーキングレチクルを製造した場合の説明図、

図 14は、図 12 に示すマスターレチクルを製造するための変位の計測及び補正等の説明図、

図 15 Aは、本発明の第 4 実施形態で製造されるワーキングレチクルを使用する投影露光装置の結像特性の誤差の一例を示す図、

図 15 Bは、本発明の第 4 実施形態で製造されるワーキングレチクル上での親パターンの縮小像の結像特性を補正する方法を示す図、

図 16 Aは、本発明の第 4 実施形態で製造されるワーキングレチクルを使用する投影露光装置の結像特性の誤差の他の例を示す図、

図 16 Bは、本発明の第 4 実施形態で製造されるワーキングレチクル上での親パターンの縮小像の結像特性を補正する方法を示す図、及び

図 17は、本発明の第 4 実施形態のワーキングレチクルの製造工程の概要を示すフローチャートである。

発明を実施するための最良の形態

本発明をより詳細に説明するために、添付の図面に従って説明する。

第1実施形態

以下、本発明の第1実施形態につき図面を参照して説明する。図1は、フォトマスクの製造工程を示す図であり、図1において、製造対象とするフォトマスクは、実際に半導体デバイスを製造する際に使用されるワーキングレチクル34である。このワーキングレチクル34は、石英ガラス等からなる光透過性の基板の一面に、クロム(Cr)、ケイ化モリブデン(MoSi₂等)、又はその他のマスク材料より転写用の原版パターン27を形成したものである。また、その原版パターン27を挟むように2つのアライメントマーク24A, 24Bが形成されている。

更に、ワーキングレチクル34は、光学式の投影露光装置の投影光学系を介して、 $1/\beta$ 倍(β は1より大きい整数、又は半整数等であり、一例として4, 5, 又は6等)の縮小投影で使用されるものである。即ち、図1において、ワーキングレチクル34の原版パターン27の $1/\beta$ 倍の縮小像27Wを、フォトレジストが塗布されたウエハW上の各ショット領域48に露光した後、現像やエッチング等を行うことによって、その各ショット領域48に所定の回路パターン35が形成される。以下、フォトマスクとしてのワーキングレチクル34の製造方法の一例について説明する。

図1において、まず最終的に製造される半導体デバイスの或るレイヤの回路パターン35が設計される。回路パターン35は直交する辺の幅がdX, dYの矩形の領域内に種々のライン・アンド・スペースパターン(又は孤立パターン)等を形成したものである。その回路パターン35を β 倍して、直交する辺の幅が $\beta \cdot dX$, $\beta \cdot dY$ の矩形の領域よりなる原版パターン27をコンピュータの画像データ上で作成する。 β 倍は、ワーキングレチクル34が使用される投影露光装置の縮小倍率($1/\beta$)の逆数である。尚、原版パターン27が反転投影されるとき、回路パターン35は反転して拡大される。

次に、その原版パターン27を α 倍（ α は1より大きい整数、又は半整数等であり、一例として4, 5, 又は6等）して、直交する辺の幅が $\alpha \cdot \beta \cdot d_X$, $\alpha \cdot \beta \cdot d_Y$ の矩形の領域よりなる親パターン36を画像データ上で作成し、その親パターン36を縦横にそれぞれ α 個に分割して、 $\alpha \times \alpha$ 個の親パターンP1, P2, P3, …, PN ($N = \alpha^2$) を画像データ上で作成する。図1では、 $\alpha = 5$ の場合が示されている。なお、この親パターン36の分割数 α は、必ずしも原版パターン27から親パターン36への倍率 α に合致させる必要は無い。その後、それらの親パターンPi ($i = 1 \sim N$) よりそれぞれ電子ビーム描画装置（又はレーザビーム描画装置等も使用できる）用の描画データを生成し、その親パターンPiをそれぞれ等倍で、親マスクとしてのマスターレチクルRi上に転写する。

例えば1枚目のマスターレチクルR1を製造する際には、石英ガラス等の光透過性の基板上にクロム、又はケイ化モリブデン等のマスク材料の薄膜を形成し、この上に電子線レジストを塗布した後、電子ビーム描画装置を用いてその電子線レジスト上に1番目の親パターンP1の等倍像を描画する。その後、電子線レジストの現像を行ってから、エッチング、及びレジスト剥離等を施すことによって、マスターレチクルR1上のパターン領域20に親パターンP1が形成される。この際に、マスターレチクルR1上には、親パターンP1に対して所定の位置関係で2つの2次元マークよりなるアライメントマーク21A, 21Bを形成しておく。同様に他のマスターレチクルRiにも、電子ビーム描画装置等を用いてそれぞれ親パターンPi、及びアライメントマーク21A, 21Bが形成される。このアライメントマーク21A, 21Bは、後に画面継ぎを行う際の位置合わせ用に使用される。また、後に詳述するが、各マスターレチクルRiの周辺領域（パターンが形成されるパターン領域の外側の遮光領域）には、複数の空間像計測用マークが形成されている。

このようにこの第1実施形態では、電子ビーム描画装置（又はレーザビーム描画装置）で描画する各親パターンPiは、原版パターン27を α 倍に拡大したパターンであるため、各描画データの量は、原版パターン27を直接描画する場合に比べて $1/\alpha^2$ 程度に減少している。更に、親パターンPiの最小線幅は、原版パターン27の最小線幅に比べて α 倍（例えば5倍、又は4倍等）であるため、

各親パターン P_i は、それぞれ従来の電子線レジストを用いて電子ビーム描画装置によって短時間に、かつ高精度に描画できる。また、一度 N 枚のマスターレチクル $R_1 \sim R_N$ を製造すれば、後は後述のようにそれらを繰り返し使用することによって、必要な枚数のワーキングレチクル $3 \sim 4$ を製造できるため、マスターレチクル $R_1 \sim R_N$ を製造するための時間は、大きな負担ではない。

即ち、それら N 枚のマスターレチクル R_i の親パターン P_i の $1/\alpha$ 倍の縮小像 $P_{I,i}$ ($i = 1 \sim N$) を、それぞれ画面継ぎを行いながら転写することによってワーキングレチクル $3 \sim 4$ が製造される。

図 2 は、ワーキングレチクル $3 \sim 4$ を製造する際に使用される光学式の縮小投影型露光装置を示し、この図 2 において露光時には、露光光源、照度分布均一化用のフライアイレンズ又はロッド・インテグレータなどのオプチカルインテグレータ（ホモジナイザー）、照明系開口絞り、レチクルブラインド（可変視野絞り）、及びコンデンサレンズ系等からなる照明光学系 1 より、露光光 I_L がレチクルステージ 2 上のレチクルに照射される。レチクルステージ 2 上には、 i 番目 ($i = 1 \sim N$) のマスターレチクル R_i が載置されている。なお、露光光としては、水銀ランプの i 線（波長 365 nm）等の輝線、又は KrF エキシマレーザ光（波長 248 nm）、ArF エキシマレーザ光（波長 193 nm）、若しくは F₂ レーザ光（波長 157 nm）等が使用できる。

マスターレチクル R_i の照明領域内のパターンの像は、投影光学系 3 を介して縮小倍率 $1/\alpha$ (α は例えば 5、又は 4 等) で、ワーキングレチクル $3 \sim 4$ 用の基板（プランクス）4 の表面に投影される。基板 4 は、石英ガラスのような光透過性の基板であり、その表面のパターン領域 25（図 4 参照）にクロム、又はケイ化モリブデン等のマスク材料の薄膜が形成され、このパターン領域 25 を挟むように位置合わせ用の 2 つの 2 次元マークよりなるアライメントマーク 24A, 24B が形成されている。これらのアライメントマーク 24A, 24B は、電子ビーム描画装置、レーザビーム描画装置、投影露光装置（ステッパー、スキナー）等を用いて、パターンの転写を行う前に予め形成される。また、基板 4 の表面にマスク材料を覆うようにフォトレジストが塗布されている。以下、投影光学系 3 の光軸 AX に平行に Z 軸を取り、Z 軸に垂直な平面内で図 2 の紙面に平行に X 軸

を、図2の紙面に垂直にY軸を取って説明する。

まず、レチクルステージ2は、この上のマスターレチクルR_iをXY平面内で位置決めする。レチクルステージ2の位置は不図示のレーザ干渉計によって計測され、この計測値、及び主制御系9からの制御情報によってレチクルステージ2の動作が制御される。一方、基板4は、不図示の基板ホルダ上に真空吸着によって保持され、この基板ホルダは試料台5上に固定され、試料台5はXYステージ6上に固定されている。試料台5は、オートフォーカス方式で基板4のフォーカス位置（光軸AX方向の位置）、及び傾斜角を制御することによって、基板4の表面を投影光学系3の像面に合わせ込む。また、XYステージ6は、ベース7上で例えばリニアモータ方式でX方向、Y方向に試料台5（基板4）を位置決めする。

試料台5の上部に固定された移動鏡8m、及び対向して配置されたレーザ干渉計8によって試料台5のX座標、Y座標、及び回転角が計測され、この計測値がステージ制御系10、及び主制御系9に供給されている。移動鏡8mは、図3に示すように、X軸の移動鏡8mX、及びY軸の移動鏡8mYを総称するものである。ステージ制御系10は、その計測値、及び主制御系9からの制御情報に基づいて、XYステージ6のリニアモータ等の動作を制御する。

また、レチクルステージ2の側方に棚状のレチクルライブラリ16が配置され、レチクルライブラリ16内にZ方向に順次配列されたN個の支持板17上にマスター レチクルR1, R2, …, RNが載置されている。これらのマスター レチクルR1～RNは、それぞれ図1の親パターン36を分割した親パターンP1～PNが形成されたレチクル（親マスク）である。レチクルライブラリ16は、スライド装置18によってZ方向に移動自在に支持されており、レチクルステージ2とレチクルライブラリ16との間に、回転自在でZ方向に所定範囲で移動できるアームを備えたレチクルローダ19が配置されている。主制御系9がスライド装置18を介してレチクルライブラリ16のZ方向の位置を調整した後、レチクルローダ19の動作を制御して、レチクルライブラリ16中の所望の支持板17とレチクルステージ2との間で、所望のマスター レチクルR1～RNを受け渡しきるよう構成されている。図2では、レチクルライブラリ16中のi番目のマ

マスター・レチクル R_i が、レチクルステージ 2 上に載置されている。

また、主制御系 9 には、磁気ディスク装置等の記憶装置 11 が接続され、記憶装置 11 に露光データファイルが格納されている。露光データファイルには、マスター・レチクル R 1 ~ R N の相互の位置関係やアライメント情報などが記録されている。

基板 4 に対する露光時には、基板 4 上の 1 番目のショット領域への 1 番目のマスター・レチクル R 1 の縮小像の露光が終了すると、XY ステージ 6 のステップ移動によって基板 4 上の次のショット領域が投影光学系 3 の露光領域に移動する。これと並行して、レチクルステージ 2 上のマスター・レチクル R 1 がレチクルローダ 19 を介してレチクルライブラリ 16 に戻され、次の転写対象のマスター・レチクル R 2 がレチクルライブラリ 16 からレチクルローダ 19 を介してレチクルステージ 2 上に載置される。そして、アライメント及び後述する結像特性の補正処理が行われた後、そのマスター・レチクル R 2 の縮小像が投影光学系 3 を介して基板 4 上の当該ショット領域に投影露光され、以下ステップ・アンド・リピート方式で基板 4 上の残りのショット領域に、順次対応するマスター・レチクル R 2 ~ R N の縮小像の露光が行われる。

さて、このようにマスター・レチクル R 1 ~ R N の縮小像を基板 4 上に露光する際には、隣接する縮小像間の画面継ぎ（つなぎ合わせ）を高精度に行う必要がある。このためには、各マスター・レチクル R_i (_i = 1 ~ N) と、基板 4 上の対応するショット領域 (S_i とする) とのアライメントを高精度に行う必要がある。このアライメントのために、この投影露光装置にはレチクル及び基板用のアライメント機構が備えられている。

図 3 は、本例のレチクルのアライメント機構を示し、この図 3 において、試料台 5 上で基板 4 の近傍に光透過性の基準マーク部材 12 が固定され、基準マーク部材 12 上に X 方向に所定間隔で例えば十字型の 1 対の基準マーク 13A, 13B が形成されている。また、基準マーク 13A, 13B の底部には、露光光 IL から分岐された照明光で投影光学系 3 側から基準マーク 13A, 13B を照明する照明系が設置されている。マスター・レチクル R_i のアライメント時には、図 2 の XY ステージ 6 を駆動することによって、図 3 に示すように、基準マーク部材

12上の基準マーク13A, 13Bの中心がほぼ投影光学系13の光軸AXに合致するように、基準マーク13A, 13Bが位置決めされる。

また、マスターレチクルR_iのパターン面（下面）のパターン領域20をX方向に挟むように、一例として十字型の2つのアライメントマーク21A, 21Bが形成されている。基準マーク13A, 13Bの間隔は、アライメントマーク21A, 21Bの投影光学系3による縮小像の間隔とほぼ等しく設定されており、上記のように基準マーク13A, 13Bの中心をほぼ光軸AXに合致させた状態で、基準マーク部材12の底面側から露光光ILと同じ波長の照明光で照明することによって、基準マーク13A, 13Bの投影光学系3による拡大像がそれぞれマスターレチクルR_iのアライメントマーク21A, 21Bの近傍に形成される。

これらのアライメントマーク21A, 21Bの上方に投影光学系3側からの照明光を±X方向に反射するためのミラー22A, 22Bが配置され、ミラー22A, 22Bで反射された照明光を受光するようにTTR（スルー・ザ・レチクル）方式で、画像処理方式のアライメントセンサ14A, 14Bが備えられている。アライメントセンサ14A, 14Bはそれぞれ結像系と、CCDカメラ等の2次元の撮像素子とを備え、その撮像素子がアライメントマーク21A, 21B、及び対応する基準マーク13A, 13Bの像を撮像し、その撮像信号が図2のアライメント信号処理系15に供給されている。

アライメント信号処理系15は、その撮像信号を画像処理して、基準マーク13A, 13Bの像に対するアライメントマーク21A, 21BのX方向、Y方向への位置ずれ量を求め、これら2組の位置ずれ量を主制御系9に供給する。主制御系9は、その2組の位置ずれ量が互いに対称に、かつそれぞれ所定範囲内に収まるようにレチクルステージ2の位置決めを行う。これによって、基準マーク13A, 13Bに対して、アライメントマーク21A, 21B、ひいてはマスターレチクルR_iのパターン領域20内の親パターンP_i（図1参照）が位置決めされる。

言い換えると、マスターレチクルR_iの親パターンP_iの投影光学系3による縮小像の中心（露光中心）は、実質的に基準マーク13A, 13Bの中心（ほぼ

光軸AX)に位置決めされ、親パターンPiの輪郭(パターン領域20の輪郭)の直交する辺はそれぞれX軸、及びY軸に平行に設定される。この状態で図2の主制御系9は、レーザ干渉計8によって計測される試料台5のX方向、Y方向の座標(XF_o, YF_o)を記憶することで、マスターレチクルRiのアライメントが終了する。この後は、親パターンPiの露光中心に、試料台5上の任意の点を移動することができる。

また、図2において、投影光学系PLの側面に、基板4上のマークの位置検出を行うために、オフ・アクシス方式で、画像処理方式のアライメントセンサ23も備えられている。アライメントセンサ23は、フォトレジストに対して非感光性で広帯域の照明光で被検マークを照明し、被検マークの像をCCDカメラ等の2次元の撮像素子で撮像し、撮像信号をアライメント信号処理系15に供給する。なお、アライメントセンサ23の検出中心とマスターレチクルRiのパターンの投影像の中心(露光中心)との間隔(ベースライン量)は、基準マーク部材12上の所定の基準マークを用いて求められて、主制御系9内に記憶されている。

図3に示すように、基板4上のX方向の端部に例えば十字型の2つのアライメントマーク24A, 24Bが形成されている。そして、マスターレチクルRiのアライメントが終了した後、XYステージ6を駆動することによって、図2のアライメントセンサ23の検出領域に順次、図3の基準マーク13A, 13B、及び基板4上のアライメントマーク24A, 24Bを移動して、それ基準マーク13A, 13B、及びアライメントマーク24A, 24Bのアライメントセンサ23の検出中心に対する位置ずれ量を計測する。これらの計測結果は主制御系9に供給され、これらの計測結果を用いて主制御系9は、基準マーク13A, 13Bの中心がアライメントセンサ23の検出中心に合致するときの試料台5の座標(XP_o, YP_o)、及びアライメントマーク24A, 24Bの中心がアライメントセンサ23の検出中心に合致するときの試料台5の座標(XP₁, YP₁)を求める。これによって、基板4のアライメントが終了する。

この結果、基準マーク13A, 13Bの中心とアライメントマーク24A, 24Bの中心とのX方向、Y方向の間隔は(XP_o-XP₁, YP_o-YP₁)となる。そこで、マスターレチクルRiのアライメント時の試料台5の座標(XF

。、 $Y F_0$ ）に対して、その間隔（ $X P_0 - X P_1$ 、 $Y P_0 - Y P_1$ ）分だけ図2のXYステージ6を駆動することによって、図4に示すように、マスターレチクルR*i*のアライメントマーク21A、21Bの投影像の中心（露光中心）に、基板4のアライメントマーク24A、24Bの中心（基板4の中心）を高精度に合致させることができる。この状態から、図2のXYステージ6を駆動して試料台5をX方向、Y方向に移動することによって、基板4上の中心に対して所望の位置にマスターレチクルR*i*の親パターンP*i*の縮小像P*I*_{*i*}を露光できる。

即ち、図4は、*i*番目のマスターレチクルR*i*の親パターンP*i*を投影光学系3を介して基板4上に縮小転写する状態を示し、この図4において、基板4の表面のアライメントマーク24A、24Bの中心を中心として、X軸及びY軸に平行な辺で囲まれた矩形のパターン領域25が、主制御系9内で仮想的に設定される。パターン領域25の大きさは、図1の親パターン36を $1/\alpha$ 倍に縮小した大きさであり、パターン領域25が、X方向、Y方向にそれぞれ α 個に均等に分割されてショット領域S1、S2、S3、…、SN（N=α²）が仮想的に設定される。ショット領域S*i*（i=1～N）の位置は、図1の親パターン36を仮に図4の投影光学系3を介して縮小投影した場合の、*i*番目の親パターンP*i*の縮小像P*I*_{*i*}の位置に設定されている。

そして、本例のワーキングレチクル34を使用する投影露光装置の投影像の結像特性が理想的である場合、主制御系9は図2のXYステージ6を駆動することによって、図4において、基板4上の*i*番目のショット領域S*i*の中心を、上記のアライメントによって求められているマスターレチクルR*i*の親パターンP*i*の縮小像P*I*_{*i*}の露光中心に合わせ込む。次いで、主制御系9は後述する結像特性の補正処理を行った後、その親パターンP*i*の縮小像を基板4上のショット領域S*i*に投影露光する。図4においては、基板4のパターン領域25内で既に露光された親パターンの縮小像は実線で示され、未露光の縮小像は点線で示されている。

このようにして、図2のN個のマスターレチクルR1～RNの親パターンP1～PNの縮小像を、順次基板4上の対応するショット領域S1～SNに露光することで、各親パターンP1～PNの縮小像は、それぞれ隣接する親パターンの縮

小像と画面継ぎを行いながら露光されたことになる。これによって、基板4上に図1の親パターン36を $1/\alpha$ 倍で縮小した投影像26が露光される。その後、基板4上のフォトレジストを現像して、エッチング、及び残っているレジストパターンの剥離等を施すことによって、基板4上の投影像26は、図5に示すような原版パターン27となって、ワーキングレチクル34が完成する。

ところで、1枚の基板4の露光に際しては、マスターレチクルR*i*の交換に関わらず、基板4は試料台5上に固定されており、その位置は、レーザ干渉計8により正確に計測されている。従って、1枚の基板4の露光中に、基準マーク13A, 13Bと基板4との位置関係が変化することはないので、マスターレチクルR*i*の交換時には、マスターレチクルR*i*を基準マーク13A, 13Bに対して位置合わせすればよく、必ずしも1枚のマスターレチクル毎に、基板4上のアライメントマーク24A, 24Bの位置を検出する必要はない。この場合にも、各マスターレチクルR*i*上の親パターンP*i*は、基準マーク13A, 13Bとの位置合わせと、レーザ干渉計8によりモニタされたステージ制御系10によるXYステージ6の位置制御により、相互に正確な位置関係を保って露光される。従って、その各パターン間の継ぎ精度も、高精度となることは言うまでもない。

また、図1の原版パターン27に例えば密集パターンと孤立パターンとが形成されている場合、マスターレチクルR1～RN中の1枚のマスターレチクルRaには密集パターンのみが形成され、別の1枚のマスターレチクルRbには孤立パターンのみが形成されることがある。このとき、密集パターンと孤立パターンとでは最良の照明条件や結像条件等の露光条件が異なるため、マスターレチクルR*i*の露光毎に、その親パターンP*i*に応じて、露光条件、即ち照明光学系1内の開口絞りの形状や大きさ、コヒーレンスファクタ（ σ 値）、及び投影光学系3の開口数等を最適化するようにしてもよい。この際に、親パターンP*i*が密集パターン（周期パターン）であるときには変形照明法を採用し、2次光源の形状を輪帯状、あるいは照明光学系の光軸からほぼ等距離だけ離れた複数の局所領域に規定すればよい。また、その露光条件を最適化するために、投影光学系3の瞳面附近に例えば光軸を中心とする円形領域で露光光を遮光する光学フィルタ（いわゆる瞳フィルタ）を挿脱したり、又は投影光学系3の像面と基板4の表面とを所定

範囲内で相対的に振動させるいわゆる累進焦点法（フレックス法）を併用したりしてもよい。

また、親マスクを位相シフトマスクとして、照明光学系の σ 値を例えば0.1～0.4程度として、上述の累進焦点法を採用してもよい。

また、フォトマスクはクロムなどの遮光層のみからなるマスクに限られるものではなく、空間周波数変調型（渋谷一レベンソン型）、エッジ強調型、及びハーフトーン型などの位相シフトマスクであってもよい。特に空間周波数変調型やエッジ強調型では、マスク基板上の遮光パターンに重ね合わせて位相シフターをバターニングするため、例えばその位相シフター用の親マスクを別途用意しておくことになる。

次に、この第1実施形態における結像特性の補正処理について説明する。図6Aに示すように、マスターレチクルR*i*のパターン（デバイスピターン）P*i*が形成された領域（パターン領域）51の外側の遮光領域（周辺領域）52には、2つのアライメントマーク21A, 21Bが形成されているが、この周辺領域52には、さらに複数の空間像計測用マーク（第1マーク）53が形成されている。この空間像計測用マーク53は、その数や位置は特に限定されないが、この実施形態では、パターン領域51の各辺（パターン領域51と周辺領域52の境界線部分）のそれに対応して、2個づつ配置されている。

この空間像計測用マーク53のそれぞれは、図6Bに示すように、一対のマーク要素53X、53Yから構成され、各マーク要素53X、53Yは、複数のスリットを間欠的に配列してなるライン・アンド・スペースパターンからなり、空間像計測用マーク53Xのスリットの長手方向と空間像計測用マーク53Yのスリットの長手方向は互いに直交するように形成されている。

なお、空間像計測用マーク53は、ここでは一対のマーク要素53X、53Yから構成しているが、単一のマーク要素から構成してもよく、あるいは図6Cに示すように、複数のマーク要素53X1, 53X2, 53X3, 53Y1, 53Y2, 53Y3, 53A, 53B, 53Cの組み合わせから構成することができる。マーク要素としては、スリットを配列したもの53X1～53X3、53Y1～53Y3の他に、複数のピンホール（円形、矩形、その他の形状を含む）を

マトリックス状に配列したもの 5 3 A～5 3 C でもよい。また、マーク要素は、5 3 X 1～5 3 X 3 や 5 3 Y 1～5 3 Y 3 のようにスリットの太さ（幅）やその配列間隔を相互に異ならせたもの、あるいは 5 3 A～5 3 C のようにピンホールの大きさ（直径など）やその配列間隔を相互に異ならせたものを組み合わせてもよい。

空間像計測用マーク 5 3 のマーク要素の構成は、パターン領域 5 1 に形成されるパターン P i に対応した形状のものを採用することができ、パターン P i がライン・アンド・スペースパターンである場合にはスリットを配列したもの 5 3 X' 1～5 3 X 3、5 3 Y 1～5 3 Y 3 を、パターン P i が孤立パターンやコンタクト・ホール（C/H）パターンである場合にはピンホールを配列したもの 5 3 A～5 3 C を採用するとよい。各マスター レチクル R i 間で空間像計測用マーク 5 3 が異なる形状であると、標準化などの観点から好ましくない場合があるため、図 6 C に示したような複数種類のマーク要素を組み合わせてなるものを採用して、パターン領域 5 1 に形成されているパターンの形状や種類に応じて対応するマーク要素を選択あるいは組み合わせて計測するようにしてもよい。これらの空間像計測用マーク 5 3 は、電子ビーム描画装置、レーザビーム描画装置、投影露光装置（ステッパー、スキャナー）等を用いて、アライメントマーク 2 1 A、2 1 B の形成と同時にあるいはこれらとは別の工程で形成される。

この空間像計測用マーク 5 3 の計測装置について説明する。図 7において、XYステージ 6 上には、マスター レチクル R i の周辺領域 5 2 に形成された空間像計測用マーク 5 3 の投影光学系 3 による投影像を空間像計測するための受光部が設けられている。この受光部は、同図に示すように矩形（この実施形態では正方形）状の開口 5 4 を有する受光板 5 5 の下側に光電センサ（光電変換素子） 5 6 を設けて構成され、光電センサ 5 6 による検出信号は、主制御系 9 に入力される。なお、開口 5 4 の下側に光電センサ 5 6 を設けずに、ライトガイドなどにより光を導いて他の部分で光電センサなどにより受光量を検出するようにしてもよい。

マスター レチクル R i を照明すると、空間像計測用マーク 5 3 の投影光学系 3 による投影像が受光板 5 5 の表面に形成される。主制御系 9 により XYステージ 6 を移動して空間像計測用マーク 5 3 の投影像の一つに対応する位置の近傍に空

間像計測装置の受光部を対応させた状態で、図 8 A に示すように、その投影像 5 7 に対して受光部の開口 5 4 をスキャン（走査移動）することにより、光電センサ 5 6 によって図 8 B に示されるような信号が検出される。即ち、空間像計測用マーク 5 3 の複数のスリット（透光部）のうちのスキャン方向に対して先頭のスリット像が開口 5 4 内に現れ、順次隣接するスリット像が開口 5 4 内に現れ、全部のスリットが開口 5 4 内に現れた後、順次開口 5 4 の外に移動していき、最終的に全てのスリット像が開口 5 4 の外に移動する。

このとき、図 8 B に示すように、光電センサ 5 6 の出力（受光量）は、各スリットの投影像 5 7 が開口 5 4 の移動に伴いほぼ階段状に増加し、ピークを迎えた後に階段状に減少する。従って、この検出値のピーク位置またはその微分信号（図 8 B の信号を微分したもの）をスライスして求めた信号中心位置における X Y ステージの座標位置を検出することにより、空間像計測用マーク 5 3 の投影像の X 又は Y 方向の位置を計測することができる。また、その X Y 計測を複数の Z 位置で行うと、図 8 B の信号の強度、またはその微分信号の強度が変化する。その信号強度は、結像面でピークを迎える。または、空間像計測用マーク 5 3 の投影像の複数のスリット像のうちの一部又は全部が開口 5 4 内に位置した状態で、ステージ 6 を Z 方向（投影光学系の光軸方向）に移動することにより、光電センサ 5 6 による受光量は徐々に増加し、結像面に一致した状態でピークを迎えた後、徐々に減少する。従って、該ピーク位置における Z 方向の位置を検出することにより、結像面を検出することもできる。従って、ステージを Z 方向及び X 方向又は Y 方向にそれぞれ単独に、あるいは斜めに移動させることにより、最適結像面における投影像の検出を行うことができ、検出の精度を向上することができる。

レチクルアライメントマーク 2 1 A, 2 1 B によるレチクル R_i のアライメントの後、このような空間像計測を各空間像計測用マーク 5 3 の投影像に対して行い、計測結果を記憶保持する。この計測結果に基づき、各空間像計測用マーク 5 3 の投影像の位置（像位置）とこれらに対応する理想格子（設計上の位置）からのずれ量が小さくなるように、例えば、倍率調整装置を用いて投影倍率を調整することにより結像特性を補正して、この状態で、レチクル R_i のパターン領域 5 1 のパターン P_i をフォトマスク用の基板 4 上に転写することにより、精度の高

いパターンの転写が行える。

このようにすることで、投影光学系3のディストーションやコマ収差等の収差、投影倍率誤差、マスターレチクルR*i*のパターンの描画誤差、マスターレチクルR*i*の投影光学系3に対するローテーションやシフトなどの位置誤差、マスターレチクルR*i*のステージ2への保持に伴うたわみ等の変形誤差、その他の誤差により生じるパターンの変形を少なくすることができる。

ここで、空間像計測用マーク53は、マスターレチクルR*i*の周辺領域52に形成されているので（パターン領域51には一般には形成できないので）、この空間像計測用マーク53について結像特性が最適になるように調整したとしても、パターン領域51では必ずしも最適になっているとは限らない。そこで、この実施形態では、以下のように対策して、さらに高精度なパターン形成を実現するようしている。

まず、図9に示すような管理用基準マスク（レチクル）60を準備する。この管理用基準マスク60は通常のマスターレチクルR*i*と同様な構成であり、同様な製造工程を経て製造される。即ち、管理用基準マスク60の周辺領域に相当する領域（第2領域）62には、マスターレチクルR*i*と同じように、アライメントマーク59A、59B及び空間像計測用マーク（第3マーク）63が形成されている。これらのアライメントマーク59A、59B及び空間像計測用マーク63は、マスターレチクルR*i*のアライメントマーク21A、21B及び空間像計測用マーク（第1マーク）53と同じ形状であり、同じ位置（相対位置）に同様な方法により形成されている。

また、管理用基準マスク60の第1領域（マスターレチクルR*i*のパターン領域51に相当する領域）61には、複数の空間像計測用マーク64、65、66が形成されている。管理用基準マスクの第1領域61は、その中央部から外側に向かって複数のエリアに分割されており、ここでは、第2領域62をエリア1として、第1領域61の外周近傍部分をエリア2、その内側の領域をエリア3、第1領域61の中央部分をエリア4とし、エリア2～エリア4にそれぞれ8個の空間像計測用マーク64、65、66をそれぞれ形成している。これらエリア2～エリア4に形成される空間像計測用マーク64、65、66は、エリア1の空間

像計測用マーク 6 3 と同じ構成、即ちマスターレチクル R i の空間像計測用マーク 5 3 と同じ構成のものが形成されている。なお、第 1 領域 6 1 の分割の仕方は、このような分割方法に限定されず、他の分割方法であってもよい。なお、これらのエリア 1 ~ エリア 4 に形成された各空間像計測用マーク 6 3 ~ 6 6 の位置は、予め座標測定器などを用いてその位置を計測して、理想格子（設計上の位置）からのずれ量を求めてこれを記憶保持しておき、該ずれ量を補正值として各種の補正を行うようにすることができる。

このような管理用基準マスク 6 0 を準備して、これをワーキングレチクル製造用の露光装置（レチクル露光装置）のレチクルステージ 2 上に保持せしめて照明光により照明し、投影光学系 3 による投影像をステージ 6 上に結像させる。この状態で、各エリア 1 ~ エリア 4 のそれぞれに形成されている各空間像計測用マーク 6 4 ~ 6 6 をマスターレチクル R i の空間像計測マーク 5 3 を計測したのと同様にして、その像位置を計測しておく。

これらの計測結果に基づき、レチクル露光装置の各種の誤差が相殺されるよう結像特性の補正を行うのであるが、結像特性の補正方法としては、主として、以下の 3 つのものが考えられる。但し、これらは例示である。また、レチクル露光装置の結像特性を補正するための調整項目としては、例えば、投影倍率、ローテーション、シフト、直交度などを挙げることができるが、ここでは説明の簡単のため、投影光学系の投影倍率を一例にとり説明する。なお、これらの補正方法はその目的に応じて適宜に選定することができ、結像特性を補正するための調整項目もその目的に応じて単一あるいは複数を適宜に選択することができる。

(a) パターン領域の全ての点で理想格子からのずれ量が最小となるように補正する。

これはパターン領域 5 1 の全域（管理用基準マスク 6 0 のエリア 2, 3, 4 に相当する領域）に渡って一様な精度が要求されるような場合を考慮した補正方法である。まず、管理用基準マスク 6 0 の各エリア 1, 2, 3, 4 の各空間像計測用マーク 6 3, 6 4, 6 5, 6 6 の投影像の位置をそれぞれ計測し、エリア 1 及びエリア 2 ~ エリア 4 のそれぞれにおける平均的な倍率誤差をそれぞれ最小自乗法などを用いて算出する。ここでは、その算出した倍率誤差を、エリア 1 では M

1、エリア2～エリア4ではM234とする。次に、エリア2～エリア4での理想格子からの誤差が最小となるように倍率調整装置（レンズコントローラなど）により投影倍率を補正する。この調整を行った後のエリア1の倍率誤差M1'を計算又は計測により求めて、これを補正值として記憶保持する。

実際にマスターレチクルR*i*を用いてプランクス4を露光する場合には、マスターレチクルR*i*の周辺領域52に形成されている空間像計測用マーク53の投影像の位置を計測して、この計測結果に基づいて求められた倍率誤差がMM1だとすると、M1' - MM1の調整を該倍率調整装置により行う。これにより、管理用基準マスク60のエリア2～エリア4での理想格子からの誤差が最小となるように補正された状態と同じ状態が再現されたことになり、マスターレチクルR*i*のパターン領域51の全域についての結像特性が最適に補正された状態となる。

(b) パターン領域の最外周の点で理想格子からのずれ量が最小となるように補正する。

これは特にパターンのつなぎ合わせ部分の精度（接続精度）を重視する場合を考慮した補正方法である。まず、管理用基準マスク60の各エリア1, 2の各空間像計測用マーク63, 64の投影像の位置を計測し、エリア1及びエリア2のそれそれぞれにおける平均的な倍率誤差をそれぞれ最小自乗法などを用いて算出する。ここでは、その算出した倍率誤差を、エリア1ではM1、エリア2ではM2とする。次に、エリア2での理想格子からの誤差が最小となるように倍率調整装置（レンズコントローラなど）により投影倍率を調整する。この調整を行った後のエリア1の倍率誤差M1'を計算又は計測により求めて、これを補正值として記憶保持する。

実際にマスターレチクルR*i*を用いてプランクス4を露光する場合には、マスターレチクルR*i*の周辺領域52に形成されている空間像計測用マーク53の投影像の位置を計測して、この計測結果に基づいて求められた倍率誤差がMM1だとすると、M1' - MM1の調整を倍率調整装置により行う。これにより、管理用基準マスク60のエリア2での理想格子からの誤差が最小となるように補正された状態と同じ状態が再現されたことになり、マスターレチクルR*i*のパターン領域51のうちの外周部分（管理用基準マスク60のエリア2に相当する部分）

についての結像特性が最適に補正された状態となる。

(c) パターン領域の最外周の点で理想格子からのずれ量が優先的に低減し、かつパターン領域の最外周以外の点も理想格子からのずれ量が低減するように補正する。

これはパターンのつなぎ合わせ部分の精度を重視するとともに、その他の部分の精度も該つなぎ合わせ部分ほどではないが重視する場合を考慮した補正方法である。まず、管理用基準マスク 6.0 の各エリア 1, 2, 3, 4 の各空間像計測用マーク 6.3, 6.4, 6.5, 6.6 の投影像の位置を計測し、エリア 1、エリア 2 及びエリア 3.4 (エリア 3 とエリア 4 の両方のエリア) のそれにおける平均的な倍率誤差をそれぞれ最小自乗法などを用いて算出する。ここでは、その算出した倍率誤差を、エリア 1 では M_1 、エリア 2 では M_2 、エリア 3.4 では $M_{3.4}$ とする。次に、エリア 2 での理想格子からの誤差が優先的に小さくなり、かつエリア 3 とエリア 4 での理想格子からの誤差もある程度小さくなるように倍率調整装置 (レンズコントローラなど) により投影倍率を調整する。この調整を行った後のエリア 1 の倍率誤差 M_1' を計算又は計測により求めて、これを補正值として記憶保持する。

実際にマスターレチクル R_i を用いてブランクス 4 を露光する場合には、マスターレチクル R_i の周辺領域 5.2 に形成されている空間像計測用マーク 5.3 の投影像の位置を計測して、この計測結果に基づいて求められた倍率誤差が MM_1 だとすると、 $M_1' - MM_1$ の調整を倍率調整装置により行う。これにより、管理用基準マスク 6.0 のエリア 2 での理想格子からの誤差が優先的に小さくなり、かつエリア 3.4 での理想格子からの誤差もある程度小さくなるように補正された状態と同じ状態が再現されることになり、マスターレチクル R_i のパターン領域 5.1 の特に外周部分 (管理用基準マスク 6.0 のエリア 2 に相当する部分) についての結像特性が優先的に補正されるとともに、他の領域 (管理用基準マスク 6.0 のエリア 3.4 に相当する部分) についての結像特性も補正された状態となる。

上記 (a) ~ (c) でそれぞれエリア毎に倍率誤差 ((a) では M_1 と $M_{2.3.4}$ 、(b) では M_1 と M_2 、(c) では M_1 と M_2 と $M_{3.4}$) を算出するとき、及びエリア 1 の倍率誤差 M_1' を求めるとき、上述した補正值 (エリア 1 ~ エリ

ア4に形成された各空間像計測用マーク63～66の計測位置の理想格子からのずれ量)に基づいてその倍率誤差を補正する。

ここで、上記(c)の場合、即ち、パターン領域51の最外周の点で理想格子からのずれ量が優先的に低減し、かつパターン領域の最外周以外の点も理想格子からのずれ量がある程度低減するように補正する場合について、さらに詳細に説明する。なお、ここでは、レチクル露光装置の結像特性を補正するための調整項目として、投影光学系の投影倍率だけでなく、ローテーション、シフト、直交度をも含めて考える。また、倍率調整装置による投影倍率の調整は、X方向及びY方向にそれぞれ独立的に行うことができるものとする。

まず、管理用基準マスク60のエリア1の空間像計測用マーク63の像位置を計測した時の計測値を(u_{1i}, v_{1i})とし、管理用基準マスク60のエリア2の空間像計測用マーク64の像位置を計測した時の計測値を(u_{2j}, v_{2j})とし、管理用基準マスク60のエリア34の空間像計測用マーク65, 66の像位置を計測した時の計測値を(u_{34k}, v_{34k})とする。但し、 i はエリア1での計測点数、 j はエリア2での計測点数、 k はエリア34での計測点数であり、それぞれ1より大きい整数である。なお、この実施形態では、 $i = 8, j = 8, k = 16$ である。

次に、エリア2、エリア34での理想格子からのずれ量(誤差)を以下のような線形モデルで近似することを考える。

$$\begin{bmatrix} X_n \\ Y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_n \\ y_n \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e \\ f \end{bmatrix} \quad \dots (L1)$$

式(L1)において、(X_n, Y_n)はモデル座標であり、(x_n, y_n)はn番目の計測値の設計座標である。

$$E \equiv E2 + E34 \quad \dots (L2)$$

$$E2 \equiv \sum_j (W2xj(u2j - Xj)^2 + W2yj(v2j - Yj)^2) \quad \dots (L3)$$

$$E34 \equiv \sum_k (W34xk(u34k - Xk)^2 + W34yk(v34k - Yk)^2) \quad \dots (L4)$$

式(L2)～(L4)で定義したEが最小になるような a, b, c, d, e, f を最小二乗法により求める。

ここで、 W_{2xj} , W_{2yj} , W_{34xk} , W_{34yk} は、誤差を補正するモデル式を求める際にエリア2とエリア3.4でのモデル式からの残留誤差の比、X成分とY成分でのモデル式からの残留誤差の比を変更するためのパラメータ（重み係数）である。即ち、パターン領域5.1内のパターンの位置（例えば、外周部分や中心部分）に応じてその精度に優劣をつけたり、パターンの方向（X方向、Y方向）に応じて精度に優劣をつける場合の優先度（重み）を表す係数であり、このパラメータを適宜に設定することにより、パターンの位置精度と接続精度を同時に、あるいはどちらかに重みをおいたモデル式が求められる。

一例として、以下のような条件（ルール）が与えられた場合について考える。

(a) エリア2（即ち、パターン領域の外側部分）は、他のマスターレチクルによるパターンとの接続部分（2つのパターンの接続部分）であるから、エリア3.4での要求精度の1/2にしなければならない。

(b) ラインパターンの位置精度や接続精度は、ラインの線幅に逆比例して厳しくなる。

この場合、各重み係数は以下のように設定することができる。

$$W_{2xj} = 2/L_{2xj}$$

$$W_{2yj} = 2/L_{2yj}$$

$$W_{34xk} = 1/L_{34xk}$$

$$W_{34yk} = 1/L_{34yk}$$

ただし、 L_{2xj} はエリア2で垂直（図9中の上下方向）に延びるj番目のラインパターンの線幅、 L_{2yj} はエリア2で水平（図9中の左右方向）に延びるj番目のラインパターンの線幅、 L_{34xk} はエリア3.4で垂直に延びるk番目のラインパターンの線幅、 L_{34yk} はエリア3.4で水平に延びるk番目のラインパターンの線幅である。

このように各重み係数を設定することにより、エリア3.4に対してエリア2の方が高精度となるような、即ち、他のパターンとの接続精度をより重視したモデル式が求められることになる。

なお、ここでは、エリア内に垂直に延びるラインパターンと水平に延びるラインパターンが両方ともに存在する場合を考えたが、エリア内に水平に延びるライ

ンパターンしかない場合は、W_{2xj}とW_{34xk}を小さな値（極端には0）に、エリア内に垂直に延びるラインパターンしかない場合は、W_{2yj}とW_{34yk}を小さな値（極端には0）に設定することができる。

また、矩形状のパターン領域の4辺の全てが常に接続部分を構成するとは限らないので、例えば、図10に示すように、4枚のマスターレチクルR1～R4（原版1～原版4）を用いて、これらのパターンをブランクス4上に転写して、ワーキングレチクル34を製造することを考えた場合、右上のマスターレチクル（原版1）R1の場合には、左辺及び下辺には接続部分があるが、他の上辺及び右辺には接続部分がないので、このような場合には、接続部分に大きな重みを、接続部分でない部分には小さな重み（極端な場合には0）を設定するようにしてもよい。

次に、上記のように製造された図1のワーキングレチクル34を用いて露光を行う場合の動作の一例について説明する。

図5は、そのワーキングレチクル34を装着した縮小投影型露光装置（デバイス露光装置）の要部を示し、この図5において、不図示のレチクルステージ上に保持されたワーキングレチクル34の下面に、縮小倍率1/β（βは5、又は4等）の投影光学系42を介してウェハWが配置されている。ウェハWの表面にはフォトレジストが塗布され、その表面は投影光学系42の像面に合致するように保持されている。ウェハWは、不図示のウェハホルダを介して試料台43上に保持され、試料台43はXYステージ44上に固定されている。試料台43上の移動鏡45mX, 45mY及び対応するレーザ干渉計によって計測される座標に基づいて、XYステージ44を駆動することによって、ウェハWの位置決めが行われる。

また、試料台43上に基準マーク47A, 47Bが形成された基準マーク部材46が固定されている。ワーキングレチクル34には、そのパターン領域25をX方向に挟むようにアライメントマーク24A, 24Bが形成されている。このアライメントマーク24A, 24Bは、図3に示したように、このワーキングレチクル34を製造するためにフォトマスク用の基板（ブランクス）4上に親パターンP_iを転写する際にアライメントに使用されたものである。これらのアライ

メントマーク 24A, 24B の上方に、レチクルのアライメント用のアライメントセンサ 41A, 41B が配置されている。この場合にも、基準マーク 47A, 47B、アライメントマーク 24A, 24B、及びアライメントセンサ 41A, 41B を用いて、試料台 43（2 組のレーザ干渉計によって規定される直交座標系 XY）に対してワーキングレチクル 34 のアライメントが行われる。

その後、重ね合わせ露光を行う場合には、不図示のウエハ用のアライメントセンサを用いて、ウエハ W 上の各ショット領域 48 のアライメントが行われる。そして、ウエハ W 上の露光対象のショット領域 48 を順次露光位置に位置決めした後、ワーキングレチクル 34 のパターン領域 25 に対して、不図示の照明光学系よりエキシマレーザ光等の露光光 IL1 を照射することで、パターン領域 25 内の原版パターン 27 を縮小倍率 $1/\beta$ で縮小した像 27W がショット領域 48 に露光される。このようにしてウエハ W 上の各ショット領域に原版パターン 27 の縮小像を露光した後、ウエハ W の現像を行って、エッチング等のプロセスを実行することによって、ウエハ W 上の各ショット領域に半導体デバイスの或るレイヤの回路パターンが形成される。

上述した第 1 実施形態によると、各マスターレチクル R_i のパターン P_i が形成されたパターン領域 51 の周辺の周辺領域 52 に空間計測用マーク（第 1 マーク）53 を形成し、マスターレチクル R_i のパターン領域 51 に相当する第 1 領域 61 に空間像計測用マーク（第 2 マーク）64, 65, 66 を形成するとともに、マスターレチクル R_i の周辺領域 52 に相当する第 2 領域 62 に空間像計測用マーク 53 に相対する空間像計測用マーク（第 3 マーク）63 を形成してなる管理用基準マスク 60 の該空間像計測用マーク 64, 65, 66 の投影像の位置（第 2 像位置）を計測し、第 2 像位置の理想位置（理想格子）からのずれ量が小さくなるように結像特性を予備的に補正した状態での空間像計測用マーク 63 の投影像の位置（第 3 像位置）を計測又は計算により求めおく。そして、マスターレチクル R_i の空間像計測用マーク 53 の投影像の位置（第 1 像位置）を計測し、第 1 像位置が第 3 像位置に対して一致（又は近接）するように結像特性を補正した状態で各マスターレチクル R_i の親パターン P_i を順次ブランクス 4 上に転写するようにしている。従って、親パターン P_i 毎にその第 1 像位置を計測

するだけで、管理用基準マスク 6 0 を用いて空間像計測用マーク（パターン領域 5 1 に相当する第 1 領域 6 1 に形成されたマーク）6 4，6 5，6 6 の像位置が理想位置に近づくように補正したときの結像特性を再現することができ、パターンの位置精度や接続精度を向上することができ、高精度なパターンを有するフォトマスク 3 4 を製造することができる。

なお、この第 1 実施形態では、各マスターレチクル R_i と管理用基準マスク 6 0 とで空間像計測用マーク 5 3 と 6 3 は同一位置に形成するようにしているが、描画誤差などにより各マスターレチクル R_i と管理用基準マスク 6 0 との間でそのマーク位置に位置ずれが生じることがあるが、そのような場合には、各マスターレチクル R_i 及び管理用基準マスク 6 0 の相対する空間像計測用マーク 5 3 と 6 3 の位置を座標測定器などを用いて計測し、そのずれ量を補正值として記憶保持しておき、マスターレチクル R_i についての結像特性の補正時にそのずれ量をも加味して補正を行うようにすることにより、かかるマーク自体の位置ずれに基づく誤差を無くすことができる。また、各マスターレチクル R_i と管理用基準マスク 6 0 のそれぞれの空間像計測用マーク 5 3 と 6 3 は、互いに相対する位置（同一位置）に形成する必要は必ずしもなく、互いの位置関係が明確であれば、互いに相対しない位置（ずれた位置）に設けることもできる。この場合には、前記のマーク間に誤差がある場合の補正だけでなく、空間像計測用マーク 5 3 と 6 3 の位置の差により発生するディストーション（Distortion）、コマ収差、投影倍率誤差、マスターレチクルのたわみ等の差を補正すればよい。

さらに、この第 1 実施形態では、マスターレチクル R_i 及び管理用基準マスク 6 0 に形成するマーク 5 3，6 3～6 6 は、空間像計測方法による計測に適した空間像計測用マークとしているが、このような空間像計測用マークに限定されることではなく、回折格子マークやその他のマークであってもよい。また、管理用基準マスク 6 0 の第 1 領域 6 1 に形成する空間像計測用マーク 6 4，6 5，6 6 は、図 9 に示したものに限られず、例えば、等間隔でマトリックス状に形成することができ、その数も上記に限定されるものではない。重み付けに際してのエリアの分割方法も種々のものを採用することができる。これらの空間像計測用マーク 5 3，6 3～6 6 は、図 2 に示した投影露光装置を用いて形成してもよいし、荷電

粒子線（電子線、イオンビームなど）を用いる露光装置、又はレーザビーム描画装置などを用いて形成してもよい。

加えて、この第1実施形態では、複数のマスターレチクル R_i を用いて、ブランクス4上に順次パターンを画面継ぎを行いながら転写するようにしたレチクル露光装置について説明しているが、このようにして製造されたあるいは別の方法により製造された複数のワーキングマスクを用いて、デバイス基板上に順次パターンを画面継ぎを行いながら転写するようにしたデバイス露光装置（例えば、液晶表示素子の製造用の露光装置）についても同様に適用できるとともに、画面継ぎを行わない場合にも勿論適用できる。

また、結像特性の補正方法も上記に限定されるものではなく、各種のものを採用することができる。例えば、投影光学系3のイメージフィールド、即ちその光軸と直交する平面内でマスターレチクルの位置をシフトさせてもよいし、あるいはその光軸と平行な方向にマスターレチクルを移動し、又は投影光学系3の物体面（その光軸と直交する平面）に対してマスターレチクルを傾けるようにしてもよい。

さらに、ワーキングレチクルの製造に使用する複数枚のマスターレチクルでそれぞれその結像特性を補正してもよいし、あるいは特定のマスターレチクルのみでその結像特性を補正してもよい。これは、例えば、各マスターレチクル R_i に形成する親パターンの大きさ、形状などを変えておくことにより実現できる。また、全てのマスターレチクルのうちの1枚又は複数枚のマスターレチクルにつき、例えば投影倍率を調整することにより結像特性の補正を行うとともに、他のマスターレチクルについては、例えばレチクルをローテーションすることにより結像特性を補正するようにしてもよい。なお、マスターレチクルによっては結像特性の補正を行わないようにしてもよい。

また、マスターレチクルと基板とをほぼ静止させてそのパターンを基板に転写する露光装置（ステッパー）を図2のレチクル露光装置として用いる場合、照明光学系1内に配置されるレチクルブラインド（視野絞り）によってマスターレチクルの親パターンを複数の区画に分けてそれ基板に転写するようにし、マスターレチクル上の複数の区画毎に、結像特性を補正するようにしてもよい。

さらに、図2のレチクル露光装置として走査型露光装置を用いてマスターレチクルのパターンを基板4に転写するときは、マスターレチクル及び基板がそれぞれ投影光学系3に対して相対移動される。そこで、走査型露光装置では、例えば照明光学系1内に配置され、マスターレチクル上での露光光の照射領域を規定するレチクルブラインド（視野絞り）を駆動して、投影光学系3のイメージフィールド内のその照射領域の位置をシフトさせるようにしてもよい。また、マスターレチクルと基板とをその走査方向をわずかにずらして同期移動する、あるいはマスターレチクルを微小回転させたまま基板との同期移動を行うことにより結像特性、特に像歪みなどを補正するようにしてもよい。また、投影光学系3の少なくとも1つの光学素子を移動することにより結像特性を補正するようにしてもよい。加えて、マスターレチクルR_iと基板4とでその走査速度を所定の速度比からわずかにずらすことにより結像特性（特に走査方向に関する倍率）を補正するようにしてもよい。

さらに、複数のマスターレチクルR_iを順次交換して親パターンP_iをそれぞれ基板4に転写するので、ワーキングレチクル34を用いたウエハWの露光に比べて基板4の露光に要する時間は比較的長くなり、かつ図2の投影露光装置がエキシマレーザを露光光として使用する場合、基板4には化学增幅型レジストが使用される。このため、現像処理後に基板4上に形成される複数のパターン像（レジストパターン）のうち、例えば1番目のマスターレチクルR₁のパターン像の線幅が目標線幅とならないことがある。即ち、基板4上に転写されるN個の親パターン像でそれぞれその露光から現像処理までの時間が異なるので、極端に言えばその親パターン像毎にその線幅変化量が異なり得る。そこで、マスターレチクル毎にその線幅変化量を計測する、又はシミュレーションにて求めておき、親パターンの転写時にその変化量に応じて基板4（レジスト）の露光量を微調整することが望ましい。これにより、親パターン毎にその露光量が調整されるので、レジストパターンの線幅変化を最小限に抑えることができる。なお、マスターレチクル毎にその露光量を調整してもよいが、複数枚のマスターレチクル毎にその露光量を調整してもよい。

また、図2～図4に示した投影露光装置が静止露光方式、例えばステップア

ドリビート方式である場合、露光光が連続光（i線など）であると、基板4上で露光光の強度と照射時間（露光時間）との少なくとも一方を変化させ、露光光がパルス光（エキシマレーザなど）であると、基板4上での露光光の強度と照射パルス数との少なくとも一方を変化させて、基板4（レジスト）の露光量を調整することになる。一方、図2～図4に示した投影露光装置が走査露光方式、例えばステップアンドスキャン方式である場合、露光光が連続光であると、基板4上での露光光の強度と、基板4の走査速度と、基板4上でのその走査方向に関する露光光の照射領域の幅との少なくとも1つを変化させ、露光光がパルス光であると、基板4上での露光光の強度と、基板4の走査速度と、基板4上でのその走査方向に関する露光光の照射領域の幅と、露光光（パルス光源）の発振周波数との少なくとも1つを変化させて、基板4（レジスト）の露光量を調整することになる。

ワーキングレチクル34に形成するデバイスパターンを拡大したデバイスパターンを要素パターン毎に分ける、例えば密集パターンと孤立パターンとに分けて、あるいは機能ブロック毎（CPUとメモリなど）に分けてマスターレチクルに形成し、基板4上での親パターン同士のつなぎ部をなくす、あるいは減らすようにしてもよい。この場合、ワーキングレチクルのデバイスパターンによっては、1枚のマスターレチクルの親パターンを基板4上の複数の領域にそれぞれ転写することもあるので、ワーキングレチクルの製造に使用するマスターレチクルの枚数を減らすことができる。なお、親パターン同士のつなぎ部が全くない場合でも本明細書ではつなぎ露光と呼んでいる。即ち、つなぎ露光という語の中には、例えば、システムLSIを製造する場合、機能ブロックに着目して拡大パターンの分割を行えば、基板4上の各ショット同士でその境界部でのつなぎをほぼ零にできるが、このような場合も含まれる。

この第1実施形態では、同一の露光装置内で複数のマスターレチクルのパターンをそれぞれ基板4に転写するものとしたが、複数台の露光装置を用いて複数のマスターレチクルのパターンを基板4に転写するようにしてもよい。例えば、1枚のワーキングレチクルの製造に必要なマスターレチクルの枚数と同数の露光装置を用意し、第1露光装置で第1マスターレチクルのパターンを基板に転写した

後、その基板を第2露光装置に搬入して第2マスターレチクルのパターンをその基板に転写する。以下、残りの露光装置でそれぞれマスターレチクルのパターンを基板に転写していく、その基板上にデバイスパターンを形成する。このとき、前記管理用基準マスクを用いて、露光装置毎にそのマークの投影像の位置を計測し、投影像の位置の理想位置からのずれ量が小さくなるように各露光装置毎に結像特性を補正する。なお、複数台の露光装置でそれぞれ用意するマスターレチクルの枚数は2枚以上であってもよい。また、1枚のマスターレチクルのパターンを基板上の複数の領域にそれぞれ転写するときは同一の露光装置を用いてもよい。

また、第1実施形態では管理用基準マスク60を用いて決定した第3像位置を記憶しておく、親パターン P_i の転写時にはマスターレチクル R_i の空間像計測用マーク53の投影位置（第1像位置）を計測し、その第1像位置が第3像位置に対して一致又は近接するように結像特性を補正するものとした。ここで、親パターンの転写時に投影光学系に蓄積される熱エネルギー、及び環境条件（大気圧など）の変化などに起因して投影光学系の光学特性が変化する。このため、その光学特性の変化に伴って前述の第3像位置も変動し得る。そこで、管理用基準マスク60を用いて第3像位置を決定した後は、前述の熱エネルギー及び環境条件の変化などに応じて第3像位置を補正していくようにし、先の第1像位置がこの補正された第3像位置と一致又は近接するように結像特性を補正することが望ましい。通常、露光装置では熱エネルギーや環境条件の変化などに応じて光学特性、例えば投影倍率、焦点位置、像面湾曲、及びディストーションなどを計算しているので、その計算をそのまま利用して第3像位置の変化を計算すればよい。また、例えば第3像位置の変化量が所定の許容値に達した時点で、管理用基準マスク60を用いた第3像位置の決定を再度行うようにすることが好ましい。これにより、第3像位置に関する前述の計算値と実測値との差が大きくなる、即ち親パターンの転写精度が低下するという問題の発生を防止することができる。

この第1実施形態によれば、投影像の理想位置からのずれ量が小さくなるように結像特性を補正するようにしたので、感光基板上に形成されるパターンの位置や形状に誤差を生じることが少なくなり、高精度、高品質なマイクロデバイスやフォトマスクを製造することができる。また、複数枚のマスクのパターンはそれ

それ転写用のパターンを拡大したパターンの一部であるため、例えば電子ビーム描画装置やレーザビーム描画装置等を用いてそれぞれ少ない描画データで、かつ短時間に小さいドリフト量で描画できる。マスクの描画誤差は、そのマスクのパターンの縮小倍率比で小さくなるため、転写用のパターン（原版パターン）を高精度に形成できる。更に、それらのマスクは一度製造すれば繰り返して使用できるため、例えばフォトマスクを多数枚製造する場合にも、個々の原版パターンを高精度に、かつ短時間に形成できる利点がある。

第2実施形態

図11A及び図11Bは本発明の第2実施形態を説明するための図であり、図11AはマスターレチクルR_iの構成を示し、図11Bは図11Aの一部（マーク部）を拡大した図である。上述した第1実施形態と実質的に同一の構成部分については同一の符号を付してその説明は省略することにする。

この第2実施形態では、マスターレチクルR_iのパターン領域51の周辺の遮光領域（周辺領域）52のうち該パターン領域51との境界部分71近傍の一部または全てを透光部とした上で、パターン領域51に形成されたパターン（ライン・アンド・スペースパターンとする）P_iの一部または全てをその透光部にまで至らしめて、その部分を空間像計測用のマーク部73としたものである。そして、レチクルブランド（視野絞り）を、同図中点線72となるように大きめに開けてマーク部73を照明し、マーク部73の投影像の位置を空間像計測装置74により計測し、マーク部73の像位置の理想位置からのずれ量が最小となるよう結像特性を補正する。次いで、レチクルブラインドを通常のショットサイズ71に設定してマーク部73を遮光した状態として、レチクルR_iのパターンをプランクス4上に転写する。このようにすることで、パターン領域51の親パターンP_iのパターン領域周辺部分の投影像とマーク部73の投影像とでは、互いにコマ収差、ディストーション、描画誤差、マスターレチクルのたわみの影響が同じであるので、転写されるパターンの周辺部分（接続部分）の精度を高くすることができる。特に画面継ぎを行う場合に、パターンの位置的及び形状的な連続

性を向上することができる。

図11A及び図11Bに示したレチクルのように、転写するパターン P_i を周辺領域52にまで至らせることができない場合には、パターン領域51に形成されるライン・アンド・スペースパターンと同様なスリット幅及び間隔を有する空間像計測用マークをパターン領域51との境界部分に形成すれば、上記とほぼ同様に、転写されるパターンの接続部分の精度を高くすることができる。また、このようなマーク部は設けずに、パターン領域51に形成されたライン・アンド・スペースパターン自体の投影像を空間像計測して、その結果に基づき結像特性を補正するようにしてもよい。その他の構成や効果については、上述の第1実施形態と同様であるので、その説明は省略することにする。

前述の説明では、空間像計測時のブラインドサイズは72としたが、レチクルブラインドの開口を更に小さくしてマーク部73だけの微少開口にして、空間像計測時に投影光学系3に不要な光を照射することによる該投影光学系3の温度上升に伴う精度劣化を低減してもよい。

第3実施形態

以下、本発明の第3実施形態を図面を参照して説明する。この第3実施形態におけるワーキングレチクルを製造するための投影露光装置（レチクル露光装置）は、上述した第1実施形態の投影露光装置（図2～図4）とほぼ同じ構成であり、マイクロデバイスを製造するための投影露光装置（デバイス露光装置）は、上述した第1実施形態（図5）とほぼ同じ構成である。従って、これらについての説明は省略する。また、図1を参照して既に説明したワーキングレチクルの製造工程についても、基本的にはほぼ同様なので、この点についても説明を省略する。

製造されるワーキングレチクル（フォトマスク）34のパターンは、複数のマスター レチクル R_i の縮小像が画面継ぎされながら順次投影転写されたものであるが、そのワーキングレチクル34の製造に用いたレチクル露光装置及びそのワーキングレチクル34が使用されるデバイス露光装置における各種の原因により、デバイス基板（W）上に理想像に対して歪んだパターンが転写形成されてしまい、

製造されるマイクロデバイスの精度や品質を低下させる。そこで、この第3実施形態では、フォトマスクの製造時及びマイクロデバイスの製造時に生じるパターンの歪みを計測して、マスターレチクル R_i にそれぞれ形成される親パターン P_i についてのその描画データを補正して、該補正した描画データに基づき該親パターン P_i を形成するようにしている。以下、これについて詳細に説明する。

図12及び図13はマスターレチクルを製造するための親パターンの補正についての説明図であり、図12は補正後の親パターンが形成されたマスターレチクルを用いてワーキングレチクルを製造した場合を、図13はこれと対比するため、補正前の親パターンが形成されたマスターレチクルを用いてワーキングレチクルを製造した場合を示している。図14は図12に示すマスターレチクルを製造するための変位（歪み）の計測及び描画データの補正についての説明図である。

例えば、図2に示したようなレチクル露光装置の投影光学系3に糸巻き状のディストーションが残存している場合を例にとって説明する。図13において、 R_i ($i = 1 \sim 4$) はマスターレチクルであり、ここでは説明を簡単にするために、親パターンとして正方形状のパターン P_a がそれぞれ形成された4枚のマスターレチクル $R_1 \sim R_4$ (原版1～原版4) のパターン P_a をマスク基板（ブランクス）4上に転写するものとする。各マスターレチクル R_i のパターン P_a を画面継ぎを行いながら、マスク基板4に転写すると、ディストーションによって、正方形状のパターン P_a はその投影像がそれぞれ糸巻き状に歪み、歪んだパターン像 P_b が形成されたワーキングレチクル34が製造される。

そこで、この第3実施形態では、以下のようにパターンの像歪みを計測して、該計測結果に基づき元の親パターン（設計上のパターン）を歪ませて形成する。これを図14を参照して概念的に説明する。図14において、 P_c はマスターレチクル（歪み計測用のもの） R_i 上に形成された正方形状のパターン（設計上のパターン） P_d に対応するマスク基板4上の理想パターン（当該ディストーションが無いとした場合の投影パターン）であり、 P_e はマスターレチクル R_i 上に形成された該正方形状のパターン P_d が当該ディストーションによって歪んで投影された実パターンである。設計上のパターン P_d 上の点 α_0 に対応する理想パターン P_c 上の点 α_1 （投影光学系3の中心AXを通る線 L_n と理想パターン P

c との交点)に対応する実パターン P_e 上の点を β_1 (線 L_n と実パターン P_e との交点)として、 β_1 の位置(座標値)を座標計測器等により計測して、該座標値に基づき点 α と点 β 間の距離(変位) Δd_n を求め、この変位 Δd_n と同じ距離を線 L_n に沿って点 γ_1 に対して反対側にとった点 γ_1 を求める。次いで、この点 γ_1 を理想投影点とするマスター・レチクル R_i 上の点 γ_0 を求める。このような計測等を、パターン P_d の全周に渡って連続的にあるいは間欠的に行い、求めた点 γ_0 の集合をもって補正後の描画データ(歪ませたパターン P_f)とする。なお、高効率化等のため計測を間欠的に行った場合には、計測しない点における変位を計測した点に基づき補間して求めることができる。

図12に示されるように、このようにして設計上のパターン P_d の描画データを補正した描画データに基づき、歪ませたパターン P_f が形成された複数のマスター・レチクル(原版1～原版4) R_1 ～ R_4 を製造し、これらをマスク基板4上に画面継ぎを行いながら順次投影露光すると、理想パターン P_c に極めて近い形状を有するパターン P_g がマスク基板4上に形成され、当該ディストーションによる歪みのない高精度、高品質なワーキングマスク34が製造される。

上記はディストーションの補正についての説明であるが、図2に示したようなレチクル露光装置において、マスター・レチクル R_i の親パターン P_i のマスク基板4の表面における投影像を歪ませる原因としては、例えば、以下のものがある。即ち、

- (1) マスター・レチクル R_i に関するものとして、マスター・レチクルの保持に伴う撓み、基準配置面(投影光学系3の物体面)に対する傾き、シフト等、
- (2) 投影光学系3に関するものとして、投影光学系3の収差(ディストーション、像面湾曲、非点収差、コマ収差、球面収差等)等、
- (3) マスク基板4に関するものとして、マスク基板4の保持に伴う撓み等がある。

また、そのようなレチクル露光装置を用いて製造されたワーキングレチクル34を用いて、デバイス露光装置によりマイクロデバイスを製造する場合に、ワーキングレチクル34のパターンのデバイス基板(W)の表面における投影像を歪ませる原因としては、例えば、以下のものがある。即ち、

(4) ワーキングレチクル34に関するものとして、ワーキングレチクルの保持に伴う撓み、基準配置面（投影光学系（図5の番号42参照）の物体面）に対する傾き、シフト等、

(5) 投影光学系（42）に関するものとして、投影光学系の収差（ディストーション、像面湾曲、非点収差、コマ収差、球面収差等）等がある。

マスター・レチクルR_iに形成する親パターンP_iについての描画データの補正是、レチクル露光装置やデバイス露光装置の上記全ての原因（1）～（5）によるパターンの歪みについて行なうことができるが、精度的に与える影響が大きい1つ又は複数について行なうようにしてもよい。

次に、上記の原因（1）～（5）について、マスク基板4又はデバイス基板W上の実投影点の位置（座標値）を計測して、設計上のパターンを補正するための関係式について説明する。

ここで、以下のパラメータを定義する。

n : 変形を計測する際の計測点数（nは整数）

i : 変形を計測する際の計測番号（iは1～n）、

j : 上記原因（1）～（5）に対応する番号（jは1～5）

(x_{0i}, y_{0i}) : 変形計測時のi番目の計測位置である点P_{0i}の座標

(x_{ji}, y_{ji}) : 原因(j)による変形により点P_{0i}(x_{0i}, y_{0i})が変位して、点Q_{ji}(x_{ji}, y_{ji})になった場合の点Q_{ji}の位置計測結果

まず、i番目の計測位置の点P_{0i}(x_{0i}, y_{0i})が原因(j)による変形により下記の式(M1)に従って、点R_{ji}(X_{ji}, Y_{ji})に変位する線形近似モデルを求めるを考える。

$$\begin{bmatrix} X_{ji} \\ Y_{ji} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{ji} & b_{ji} \\ c_{ji} & d_{ji} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{0i} \\ y_{0i} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_{ji} \\ f_{ji} \end{bmatrix} \quad \dots (M1)$$

上式において、a_{ji}, b_{ji}, c_{ji}, d_{ji}, e_{ji}, f_{ji}は、計測値としてのQ_{ji}(x_{ji}, y_{ji})とモデル上の点R_{ji}(X_{ji}, Y_{ji})の差分が最も小さくなるように最小自乗法を用いて求めればよい。但し、上記の原因（1）～（5）による変形による誤差は線形でないことが予想されるので、モデルを求めたい位置（今はi番目の計測位置）に近いデータほど重みを大きくする重みづけ線形近似を使用

する。

具体的には、変形を計測した時の*i*番目の計測値としての点Q_{ji}(x_{ji}, y_{ji})とモデル上の点R_{ji}(X_{ji}, Y_{ji})から、以下のE_{ji}²とW_{ik}を定義する。但し、sは定数で、kは1～nまでの整数である。このE_{ji}²が最小になるような、a_{ji}, b_{ji}, c_{ji}, d_{ji}, e_{ji}, f_{ji}を最小自乗法により求めればよい。即ち、

$$E_{ji}^2 \equiv \sum_{k=1}^n (W_{ik}((X_{ji} - x_{ji})^2 + (Y_{ji} - y_{ji})^2)) \dots (M2)$$

$$W_{ik} \equiv (1 / \sqrt{2\pi s}) \exp(-((x_{ji} - x_{jk})^2 + (y_{ji} - y_{jk})^2) / 2s) \dots (M3)$$

ここで、W_{ik}は、i番目の計測点とk番目の計測点との距離が近いほど、大きな値をとるガウス関数である。式(M3)中のsは、ガウス関数W_{ik}のすその広がりを表し、sが大きければi番目の計測点から遠く離れたデータまでも考慮した線形近似式となる。一方、sが小さければi番目の計測点に近いデータしか考慮しない線形近似式となり、i番目の計測位置での原因(j)についての変形モデルは、i番目の計測位置近辺で局所的に線形近似を行ったものとなる。

これにより、原因(j)についての変形モデル、即ち、i番目の計測点P_{0i}(x_{0i}, y_{0i})が点R_{ji}(X_{ji}, Y_{ji})に変位するモデルが求められた。ここで、簡単のために、式(M1)を以下のような表記に書き直す。

$$Z_j = A_j \cdot Z_0 + B_j$$

但し、

$$Z_i = \begin{bmatrix} X_{ji} \\ Y_{ji} \end{bmatrix}$$

$$A_j = \begin{bmatrix} a_{ji} & b_{ji} \\ c_{ji} & d_{ji} \end{bmatrix}$$

$$Z_0 = \begin{bmatrix} x_{0i} \\ y_{0i} \end{bmatrix}$$

$$B_j = \begin{bmatrix} e_{ji} \\ f_{ji} \end{bmatrix}$$

とする。

各原因(1)～(5)による変形は順次累積するものとして、各原因(1)～(5)についての変形モデルを考えると、

- (1) $Z_1 = A_1 \cdot Z_0 + B_1$
- (2) $Z_2 = A_2 \cdot Z_1 + B_2$
- (3) $Z_3 = A_3 \cdot Z_2 + B_3$
- (4) $Z_4 = A_4 \cdot Z_3 + B_4$
- (5) $Z_5 = A_5 \cdot Z_4 + B_5$ となる。

次に、その逆変換をする関係式を求める。原因(j)の変形についての逆変形モデルは、

$Z_0 = A_j^{-1} (Z_j - B_j)$ となる。但し、 A_j^{-1} は A_j の逆行列である。

従って、各原因(1)～(5)による変形についての逆変形モデルを考えると、

- (1) $Z_0 = A_1^{-1} (Z_1 - B_1)$
- (2) $Z_1 = A_2^{-1} (Z_2 - B_2)$
- (3) $Z_2 = A_3^{-1} (Z_3 - B_3)$
- (4) $Z_3 = A_4^{-1} (Z_4 - B_4)$
- (5) $Z_4 = A_5^{-1} (Z_5 - B_5)$ となる。

最終的には、デバイス基板上でパターンが理想格子に従って並ぶためには、マスター・レチクルR*i*上でどのようにパターンを歪めて描画すればよいかが知りたいので、 Z_5 で理想の位置座標を決めた時にマスター・レチクルR*i*に描画する位置 Z_0 が求まればよい。

その計算式は、

$$\begin{aligned}
 Z_0 &= A_1^{-1} (Z_1 - B_1) \\
 &= A_1^{-1} (A_2^{-1} (Z_2 - B_2) - B_1) \\
 &= A_1^{-1} (A_2^{-1} (A_3^{-1} (Z_3 - B_3) - B_2) - B_1) \dots (\text{イ}) \\
 &= A_1^{-1} (A_2^{-1} (A_3^{-1} (A_4^{-1} (Z_4 - B_4) - B_3) - B_2) - B_1) \\
 &= A_1^{-1} (A_2^{-1} (A_3^{-1} (A_4^{-1} (A_5^{-1} (Z_5 - B_5) - B_4) - B_3) - B_2) - B_1) \dots (\text{ロ}) \text{ となる。}
 \end{aligned}$$

なお、レチクル露光装置で製造するワーキングレチクル34上のパターンが理想格子に従って並ぶために、マスター・レチクルR*i*上でどのようにパターンを歪

めて描画すればよいかを求める場合には、式（イ）を使用すればよく、この場合において、例えば、原因（3）による変形を考慮したくない場合には、 A_3^{-1} を単位行列に、 B_3 を零行列として計算すればよい。また、デバイス露光装置で露光するデバイス基板（W）上のパターンが理想格子に従って並ぶために、マスターレチクル R_i 上でどのようにパターンを歪めて描画すればよいかを求める場合には、式（ロ）を使用すればよく、このような方法で、原因（1）～（5）の全てを含めた変形に対して、又は原因（1）～（5）の中から1つ以上の組み合わせで発生する変形に対して、式（ロ）を使って、補正点を求めることができる。

上記に従って求めた描画データに基づき、電子ビーム描画装置やレーザビーム描画装置等により、設計上のパターンに対して歪ませたパターンを描画して複数のマスターレチクル R_i を製造し、これらのマスターレチクル R_i を用いて、レチクル露光装置によりマスク基板4上に順次画面継ぎを行いながらパターンを転写してワーキングレチクル34を製造する。

このようにして製造されたワーキングレチクル34を用いて、図5に示したようなデバイス露光装置によりデバイス基板W上に露光処理を行う。

なお、この第3実施形態では、レチクル露光装置又はデバイス露光装置において、投影されたパターンを歪ませる原因として、原因（1）～（5）を示しているが、これらは例示であり、その他の原因を考慮して、設計上のパターンを歪ませて形成するようにできる。

親パターン P_i を基板4に転写する前に、アライメントセンサ14A, 14Bを用いてマスターレチクル R_i 毎にそのアライメントマーク21A, 21Bと基準マーク13A, 13Bとを検出してマスターレチクル R_i のアライメントが行われる。また、遮光材などからなるアライメントマーク24A, 24Bの代わりに、基板4上のレジストに形成されるアライメントマークの潜像を用いるとしてもよい。この場合、基板4を投影露光装置（図2）に搬入して親パターン P_i を転写する前に、その投影露光装置を用いて基板4上のレジストにアライメントマークの潜像を形成すればよいので、前述したアライメントマークの形成工程を省略でき、ワーキングレチクル34の製造時間の短縮や製造コストの低減を図ることができる。

また、図2中の試料台5上に開口パターンを有する光電検出器を配置し、マスター レチクル、又はテスト レチクルに形成された複数のマークをそれぞれ投影光学系3で投影するとともに、試料台5を移動してその投影像を順次開口パターンを介して光電検出器で検出する。この光電検出器の出力信号と干渉計8の出力信号とに基づいて各投影像の座標値を求め、この複数の座標値から前述した(1)、(2)に起因して生じる像歪みを検出してもよい。このとき、マスター レチクルのパターンを基板4(ワーキングレチクル34)に転写するときと露光条件を同一にする、即ち照明光学系1内の開口絞りの形状や大きさ、コヒーレンスファクター(σ 値)、投影光学系3の開口数(NA)、及び瞳フィルタの有無などを同一として、露光光をマークに照射するとともに、そのマークを投影することが好ましい。また、マークの線幅やピッチなどの形成条件を、マスター レチクルのパターンと同一にしておくことが望ましい。なお、ワーキングレチクル34のパターンをウエハWに転写する露光装置(図5)でも同様に、試料台43上に開口パターンを有する光電検出器を配置し、前述の(4)、(5)に起因して生じる像歪みを検出してもよい。また、上述の第1実施形態において説明した検出器(図7の符号54~56等)を用いて、当該像歪みを検出するようにしてもよい。

さらに、マスター レチクルのパターン、又はマークを基板4に転写し、レジストに形成されるパターン、又はマークの潜像、あるいは現像処理後に形成されるレジスト像の位置をアライメントセンサ23などで検出して、前述の像歪みを求めるようにしてもよい。なお、パターン、又はマークが転写された基板4を現像、及びエッティングし、基板4上に形成された像の位置を検出して像歪みを求めてよい。この場合、現像やエッティングなどのプロセスに起因して生じる歪みまでも含めて像歪みを求めることができる。

また、前述の実施形態では、前述の(1)~(5)などに起因して像歪みを相殺するように、マスター レチクルに形成するパターンを歪ませるものとしたが、マスター レチクルに形成すべきパターン全体を歪ませなくてもよく、例えばそのパターンの一部のみを歪ませる、あるいはそのパターンの一部を他の部分に対して相対的にシフトさせるようにしてもよい。さらに、マスター レチクルのパターンを歪ませる代わりに、図2中の投影光学系3の物体面側でマスター レチクルを

移動してそのパターン位置をシフトさせるようにしてもよい。このとき、投影光学系3のイメージフィールド、即ちその光軸と直交する平面内でのパターン位置をシフトさせてもよいし、あるいはその光軸と平行な方向にマスターレチクルを移動してそのパターン位置をシフトさせる、又は投影光学系3の物体面（その光軸と直交する平面）に対してマスターレチクルを傾けるようにしてもよい。なお、ワーキングレチクルの製造に使用する複数枚のマスターレチクルでそれぞれそのパターン位置をシフトさせてもよいし、あるいは特定のマスターレチクルのみでそのパターン位置をシフトさせてもよい。また、1枚のマスターレチクルにつき、そのパターンを歪ませるとともに、投影光学系3の物体面側でパターン位置をシフトさせるようにしてもよいし、あるいはワーキングレチクルの製造に使用する複数枚のマスターレチクルの少なくとも一枚についてはそのパターンを歪ませ、残りのマスターレチクルについてはそのパターン位置をシフトさせるようにしてもよい。なお、マスターレチクルによってはそのパターンを歪ませず、かつそのパターン位置をシフトさせなくともよい。また、マスターレチクルと基板とをほぼ静止させてそのパターンを基板に転写する露光装置（ステッパー）を用いる場合、照明光学系1内に配置されるレチクルブラインド（視野絞り）によってマスターレチクルのパターンを複数の区画に分けてそれぞれ基板に転写するようにし、マスターレチクル上の複数の区画毎に、投影光学系3のイメージフィールド内の位置をシフトさせてもよい。

さらに、走査型露光装置を用いてマスターレチクルのパターンを基板4に転写するときは、マスターレチクル及び基板がそれぞれ投影光学系3に対して相対移動される。そこで、走査型露光装置では、例えば照明光学系1内に配置され、マスターレチクル上での露光光の照射領域を規定するレチクルブラインド（視野絞り）を駆動して、投影光学系3のイメージフィールド内でのその照射領域の位置をシフトさせるようにしてもよい。また、マスターレチクルと基板とをその走査方向をわずかにずらして同期移動する、あるいはマスターレチクルを微小回転させたまま基板4との同期移動を行って、基板4上でのそのパターンの転写像を歪ませるようにしてもよい。

また、前述の（1）～（5）などに起因して生じる像歪みのうち、非回転対称

成分についてはマスター レチクルに形成する親パターンを歪ませて相殺し、残りの回転対称成分については前述の如くパターン位置をシフトさせる、あるいは投影光学系 3 又は 4 2 の少なくとも 1 つの光学素子を移動して相殺するようにしてもよい。なお、走査型露光装置ではマスター レチクルと基板とでその走査方向をわずかにずらしてその回転対称成分を相殺するようにしてもよい。

さらに、複数のマスター レチクル R_i を順次交換して親パターン P_i をそれぞれ基板 4 に転写するので、ワーキングレチクル 3 4 を用いたウエハ W の露光に比べて基板 4 の露光に要する時間は比較的長くなり、かつ図 2 の投影露光装置がエキシマレーザを露光光として使用する場合、基板 4 には化学增幅型レジストが使用される。このため、現像処理後に基板 4 上に形成される複数のパターン像（レジストパターン）のうち、例えば 1 番目のマスター レチクル R_1 のパターン像の線幅が目標線幅とならないことがある。即ち、基板 4 上に転写される N 個の親パターン像でそれぞれその露光から現像処理までの時間が異なるので、極端に言えばその親パターン像毎にその線幅変化量が異なり得る。そこで、マスター レチクル毎にその線幅変化量を計測する、又はシミュレーションにて求めておき、親パターンの転写時にその変化量に応じて基板 4（レジスト）の露光量を微調整することが望ましい。これにより、親パターン毎にその露光量が調整されるので、レジストパターンの線幅変化を最小限に抑えることができる。なお、マスター レチクル毎にその露光量を調整してもよいが、複数枚のマスター レチクル毎にその露光量を調整してもよい。

また、図 2～図 4 に示した投影露光装置が静止露光方式、例えばステップアンドリピート方式である場合、露光光が連続光（i 線など）であると、基板 4 上での露光光の強度と照射時間（露光時間）との少なくとも一方を変化させ、露光光がパルス光（エキシマレーザなど）であると、基板 4 上での露光光の強度と照射パルス数との少なくとも一方を変化させて、基板 4（レジスト）の露光量を調整することになる。一方、図 2～図 4 に示した投影露光装置が走査露光方式、例えばステップアンドスキャン方式である場合、露光光が連続光であると、基板 4 上での露光光の強度と、基板 4 の走査速度と、基板 4 上でのその走査方向に関する露光光の照射領域の幅との少なくとも 1 つを変化させ、露光光がパルス光である

と、基板4上での露光光の強度と、基板4の走査速度と、基板4上でのその走査方向に関する露光光の照射領域の幅と、露光光（パルス光源）の発振周波数との少なくとも1つを変化させて、基板4（レジスト）の露光量を調整することになる。

ワーキングレチクル34に形成するデバイスパターンを拡大したデバイスパターンを要素パターン毎に分ける、例えば密集パターンと孤立パターンとに分けて、あるいは機能ブロック毎（C P Uとメモリなど）に分けてマスターレチクルに形成し、基板4上での親パターン同士のつなぎ部をなくす、あるいは減らすようにしてもよい。この場合、ワーキングレチクルのデバイスパターンによっては、1枚のマスターレチクルの親パターンを基板4上の複数の領域にそれぞれ転写することもあるので、ワーキングレチクルの製造に使用するマスターレチクルの枚数を減らすことができる。

前述の第3実施形態では、同一の露光装置内で複数のマスターレチクルのパターンをそれぞれ基板4に転写するものとしたが、複数台の露光装置を用いて複数のマスターレチクルのパターンを基板4に転写するようにしてもよい。例えば、1枚のワーキングレチクルの製造に必要なマスターレチクルの枚数と同数の露光装置を用意し、第1露光装置で第1マスターレチクルのパターンを基板に転写した後、その基板を第2露光装置に搬入して第2マスターレチクルのパターンをその基板に転写する。以下、残りの露光装置でそれぞれマスターレチクルのパターンを基板に転写していく、その基板上にデバイスパターンを形成する。このとき、前記（1）～（5）の少なくとも1つによって生じる像歪みを相殺するように、露光装置毎にその装置で使用するマスターレチクルのパターンを歪ませる、あるいはそのパターン位置をシフトさせる。なお、複数台の露光装置でそれぞれ用意するマスターレチクルの枚数は2枚以上であってもよい。また、1枚のマスターレチクルのパターンを基板上の複数の領域にそれぞれ転写するときは同一の露光装置を用いてもよい。

上述した第3実施形態によれば、理想投影像に実投影像が実質的に一致するよう、親マスク（マスターレチクルR*i*）、即ちワーキングマスク（ワーキングレチクル34）に形成すべき設計上のパターンを歪ませて形成するようにしたか

ら、例えば、基板保持に伴う撓みや投影光学系の収差等が残存していたとしても、マスク基板4、又はデバイス基板W上に理想像に近いパターンを投影転写することができ、高精度、高品質なフォトマスク又はマイクロデバイスを製造することができる。

第4実施形態

以下、本発明の第4実施形態を図面を参照して説明する。上述した第1実施形態において既に説明した事項についてはその説明の一部を省略することにする。

この第4実施形態では、投影露光装置の投影像の非回転対称収差、及びディストーション特性等の結像特性は予め計測されており、この計測結果が後述のようにそのワーキングレチクル34の製造時に利用される。

上述した第1実施形態において既に説明したが、ワーキングレチクル34用の基板（ブランクス）4は、石英ガラスのような光透過性の基板であり、その表面のパターン領域25にクロム、又はケイ化モリブデン等のマスク材料の薄膜が形成され、このパターン領域25を挟むように位置合わせ用の2つの2次元マークよりなるアライメントマーク24A、24Bが形成されている。これらのアライメントマーク24A、24Bは、電子ビーム描画装置、レーザビーム描画装置、投影露光装置（ステッパー、スキャナー）等を用いて、パターンの転写を行う前に予め形成されている。基板4はアライメントセンサ23（図2）を用いて、これらのアライメントマーク24A、24Bと基準マーク13A、13Bとの相対位置が計測されることによりアライメントされる。

一方、マスターマスクR_iにもアライメントマーク21A、21Bが形成されており、親パターンP_iを基板4に転写する前に、アライメントセンサ14A、14Bを用いてマスターレチクルR_i毎にそのアライメントマーク21A、21Bと基準マーク13A、13Bとを検出してマスターレチクルR_iのアライメントが行われる。

上述した第1実施形態においては、2番目のマスターレチクルR2の親パターンP2を基板4に転写する前に、アライメントセンサ23によってアライメント

マーク 24A, 24B を検出してその位置情報（X座標、Y座標、及び回転量）を得るものとした。しかしながら、1番目のマスターレチクルR1の親パターンP1を基板4に転写する前にアライメントマーク24A, 24Bを検出し、その位置情報を用いてマスターレチクルR1～RNの親パターンP1～PNをそれぞれ基板4に転写してもよい。

さらに、n番目のマスターレチクルRnの親パターンPn ($1 \leq n \leq N-1$)を基板4に転写するとき、例えばアライメントマーク21A, 21Bの少なくとも1つを基板4に転写し、基板4（レジスト）に形成されたその少なくとも1つのアライメントマークの潜像をアライメントセンサ23で検出して得られる位置情報を用いて、(n+1)番目のマスターレチクルRn+1の親パターンPn+1を基板4に転写するようにしてもよい。このとき、先に検出したアライメントマーク24A, 24Bの位置情報を併用してもよい。また、3番目以降のマスターレチクルRnを基板4に転写する場合、1～(n-1)番目のマスターレチクルの転写時にそれぞれ形成されたアライメントマークの潜像に関する全ての位置情報を用いるようにしてもよいし、あるいは少なくとも1つの潜像を選択してその位置情報のみを用いるようにしてもよい。このとき、基板4上に転写された1～(n-1)番目の親パターンP1～Pn-1の転写像のうち、マスターレチクルRnの親パターンPnの縮小像がつなぎ合わされる転写像に対応するアライメントマークの潜像の位置情報を選択的に用いるようにしてもよい。

ここで、上記の説明と一部重複するが、ワーキングレチクル34の製造の流れの概要を、図17及び図10を参照して説明する。図10において、R_i (i=1～4)はマスターレチクルであり、ここでは説明を簡単にするために、パターン「A」から「D」がそれぞれ形成された4枚のマスターレチクルR1～R4（原版1～原版4）のパターンをフォトマスク用の基板（ブランクス）4上に転写するものとする。

図17において、まず、フォトレジストが塗布された基板4を図2のXYステージ6上の試料台5上に搬入（ロード）するとともに（ST1）、複数のマスターレチクルR_iのうちの最初の一枚（原版1）を図2のレチクルステージ2上に搬入（ロード）する（ST2）。次いで、マスターレチクルR1のアライメント

マーク 21A, 21B を基準マーク 13A, 13B に対してアライメントし (S T 3)、基板 4 のアライメントマーク 24A, 24B をアライメントセンサ 23 で検出して得られる位置情報に基づいてマスターレチクル R 1 と基板 4 とを相対移動して、その親パターン P 1 の縮小像と基板 4 とをアライメントし (S T 4)、露光処理を実施してマスターレチクル R 1 上のパターン「A」を基板 4 上に転写する (S T 5)。その後、マスターレチクル R 1 をレチクルステージ 2 から搬出 (アンロード) し (S T 6)、全てのマスターレチクルについて基板 4 へのパターンの転写が終了したか否かを判断する (S T 7)。S T 7において、全てのマスターレチクルについてパターンの転写が終了していないと判断した場合には、次のマスターレチクル R 2～R 4 (原版 2～原版 4) を順次搬入した後 (S T 8)、S T 3 に戻って、マスターレチクル R 2～R 4 上のパターン「B」～「D」の基板 4 への転写を画面継ぎを行いながら順次繰り返す。S T 7において、全てのマスターレチクルについて基板 4 への転写が終了したと判断した場合には、基板 4 を搬出 (アンロード) し (S T 9)、これらの一連の露光処理を終了する。

その後、基板 4 上のフォトレジストを現像して、エッチング、及び残っているレジストパターンの剥離等を施すことによって、図 10 に示すような各原版パターン「A」～「D」が転写されたワーキングレチクル 34 が完成する。このとき、マスターレチクル R i とのアライメントに使用された基板 4 上のアライメントマーク 24A, 24B は、図 5 に示したデバイス露光装置において、このワーキングレチクル 34 を使用してデバイス用の基板上にパターンの転写を実施する際のアライメントに使用するために、そのまま残される。

次に、ワーキングレチクル 34 を使用する投影露光装置の投影像の結像特性が理想状態から外れている場合について説明する。ワーキングレチクル 34 を使用する図 5 に示す投影露光装置が、一括露光型であるとすると、その投影光学系 42 の結像特性には、或る程度の非回転対称収差、又はディストーション等が残存している場合も有り得る。ここでは、投影光学系 42 の結像特性に、図 15 A に示すように、点線で示す格子状の理想像 28 が、実線で示す糸巻き型 (又は樽型等) の投影像 29 となるディストーションが残存しているものとする。

図 15 Aにおいて、投影光学系 42 の光軸 AX 1 から投影像 29 上の点 29 a

までの距離を r 、対応する理想像 28 上の点 28 a までの光軸 AX 1 からの距離を r_0 とすると、距離 r でのディストーション $D(r)$ は次式で表される。

$$D(r) = (r - r_0) / r \quad \dots (N1)$$

従って、距離 r での投影像 29 の理想像 28 に対する位置ずれ量は、ほぼ $r \cdot D(r)$ となる。

この場合、この第4実施形態では、図4に示すように、基板4上に i 番目のマスター レチクル R_i の親パターン P_i の縮小像を投影する際に、そのディストーションを相殺するように、露光位置を本来のショット領域 S_i から X 方向、Y 方向に横ずれさせておく。

図15Bは、基板4上のショット領域 S_1, S_2, \dots, S_N の配列を再び示し、この図15Bにおいて、本来のショット領域 S_5 上に対応する親パターン P_5 の縮小像 P_{I5} を投影するものとする。この場合、ショット領域 S_5 の中心から、その基板4（ワーキングレチクル34）が使用される予定の露光装置、本実施形態では図5の露光装置の投影光学系42の光軸 AX 1 までの距離を r とすると、このショット領域 S_5 をその投影光学系42で $1/\beta$ 倍で縮小投影した場合の、投影位置の半径方向の位置ずれ量は、(N1)式より $(r/\beta) D(r/\beta)$ となる。また、図2の露光装置において、予めショット領域 S_5 に対して縮小像 P_{I5} の露光位置を $\delta(r)$ だけ位置ずれさせておいた場合の、図5の露光装置でのその投影光学系42による位置ずれ量は、 $\delta(r)/\beta$ となる。そこで、この位置ずれ量でそのディストーションを相殺するための条件はつぎのようになる。

$$\delta(r)/\beta = -(r/\beta) D(r/\beta) \quad \dots (N2)$$

この(N2)式より、位置ずれ量 $\delta(r)$ は次のようになる。

$$\delta(r) = -r \cdot D(r/\beta) \quad \dots (N3)$$

この式において、 $D(r/\beta)$ が正の値である場合のマイナス符号は、図2の露光装置において縮小像 P_{I5} を、光軸 AX と直交する面内でその光軸 AX に向けて位置ずれさせることを意味する。同様に、例えば、ショット領域 S_7 においても、対応する縮小像 P_{I7} の露光位置を (N3) 式を満たすように位置ずれさせておき、他のショット領域でも同様に縮小像を位置ずれさせておく。なお、図5の露光装置において光軸 AX 1 上のショット領域 S_{13} では、図2の露光装置

において縮小像 P I 1 3 の位置を変化させる必要は無い。これによって、図 5 の露光装置では図 1 5 A のディストーションは相殺されて、投影光学系 4 2 によって理想像 2 8 がデバイス基板 (W) 上に露光される。

なお、図 1 5 A より分かるように、投影像 2 9 中で光軸 AX I からの距離が r の位置にある部分領域は、倍率も $\Delta \beta (r)$ だけ変化していると共に、微妙に非回転対称な歪も発生している。そこで、図 2 ~ 図 4 の投影露光装置の投影光学系 3 には、例えば投影光学系 3 内の所定のレンズエレメントを駆動する等の補正機構を設けて、投影倍率やディストーションを所定範囲で制御できるようにしておくことが望ましい。そして、例えば図 1 5 B のショット領域 S 5 に縮小像 P I 5 を露光する際には、図 2 ~ 図 4 の投影露光装置を用いて露光位置を $\delta (r)$ だけずらすのみならず、対応する倍率誤差 $\Delta \beta (r / \beta)$ を相殺するように投影光学系 3 の倍率を補正しておくと共に、対応する部分的な歪をできるだけ相殺するように投影光学系 3 のディストーション特性も補正しておく。これによって、図 1 5 A のディストーションを全体としてより高精度に相殺できるようになる。

次に、図 5 の投影露光装置が例えばステップ・アンド・スキャン方式のような走査露光型であるとして、その投影像の結像特性には、図 1 6 A に示すように、点線で示す矩形の理想像 3 0 が、実線で示す平行四辺形状の投影像 3 1 となるいわゆるスキー誤差が残存している場合につき説明する。

図 1 6 A において、投影像 3 1 の中心は、理想像 3 0 の中心 3 5 と同じであるが、投影像 3 1 は理想像 3 0 に対して走査方向の軸である Y 軸に対して時計周りに角度 α だけ歪んでいる。これは、レチクルと被露光基板との走査方向がずれている場合に生じる、走査露光方式に特有の誤差（非回転対称収差の一例とも言える）であり、例えば投影像 3 1 の周辺部の部分像 3 1 a は、理想的な部分像 3 0 a に対して、 $-X$ 方向に $\delta X 1$ だけ横ずれすると共に、角度 α だけ平行四辺形状に歪んでいる。

この場合、この実施形態では、図 2 ~ 図 4 に示した、基板 4 上にマスターレチクル R 1 ~ R N の親パターンの縮小像を順次投影する投影露光装置として、Y 方向を走査方向とするステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置を使用する。そして、例えば図 1 6 A の部分像 3 1 a に対応するマスターレチクル R 2 1 の親

パターンの縮小像 P I 2 1 を露光する際に、その横ずれ量 $\delta X 1$ 、及び角度 ϕ の誤差を相殺するように結像特性を補正する。

図 1 6 B の点線の配列 3 2 は、基板 4 上の設計上のショット領域の配列を示し、この図 1 6 Bにおいて、図 1 6 A の部分像 3 0 a に対応する設計上のショット領域 S 2 1 上に親パターンの縮小像 P I 2 1 を投影するものとする。この場合、このショット領域 S 2 1 をその投影光学系 3 で $1/\beta$ 倍で縮小投影した場合の横ずれ量は $\delta X 1$ であるため、図 2 ~ 図 4 の走査型露光装置において予めショット領域 S 2 1 に対して縮小像 P I 2 1 の露光位置を $\delta X 2$ だけ位置ずれさせておいた場合の、図 5 の走査型露光装置での、その投影光学系 4 2 による位置ずれ量は、 $-\delta X 2 / \beta$ となる（マイナス符号は反転投影による）。そこで、この位置ずれ量でその横ずれ量 $\delta X 1$ を相殺するための条件は次のようになる。

$$-\delta X 2 / \beta = -\delta X 1 \quad \cdots (N 4)$$

この (N 4) 式より、位置ずれ量 $\delta X 2$ は、 $\beta \cdot \delta X 1$ となる。

更に、本例では、図 2 ~ 図 4 の露光装置で縮小像 P I 2 1 を露光する際に、走査方向を Y 方向として、マスター・レチクルと基板 4 との走査方向をずらすことによって、縮小像 P I 2 1 を Y 軸に対して反時計周りに角度 ϕ だけ歪ませる。同様に、他のショット領域においても、対応する縮小像の露光位置を横ずれさせると共に、Y 軸に対して反時計周りに角度 ϕ だけ歪ませる。これによって、図 5 の走査型露光装置では図 1 6 A のスキュー誤差は実質的に相殺されて、理想像 3 0 が露光される。

前述の説明では、アライメントマーク 2 4 A, 2 4 B をアライメントセンサ 4 1 A, 4 1 B で検出して、投影光学系 4 2 の光軸 AX 1 に対してその中心がほぼ一致するようにワーキングレチクル 3 4 のアライメントを行うものとしたが、デバイス基板 (ウエハ) W 上のショット領域毎に、アライメントセンサ 4 1 A, 4 1 B によってワーキングレチクル 3 4 のアライメントマーク 2 4 A, 2 4 B とショット領域のアライメントマークとを検出し、この検出結果に応じてワーキングレチクル 3 4 とウエハ W とを相対移動する、いわゆるダイ・バイ・ダイ・アライメントを行うようにしてもよい。または、ウエハ W 上の複数（例えば 5 ~ 10 個程度）のショット領域をアライメントショット領域として選択し、アライメント

センサ41A, 41Bによってアライメントマーク24A, 24Bとアライメントショット領域のアライメントマークとを検出し、ワーキングレチクル34のパターン像とアライメントショット領域との位置ずれ量が零となるときのXYステージ44のX、Y座標を求める。そして、この求めた複数の座標を用いた統計演算処理によってウェハW上の各ショット領域の座標位置を算出し、この算出した座標位置に従ってXYステージ44を順次移動する、いわゆるエンハンスド・グローバル・アライメントを行うようにしてもよい。なお、アライメントセンサ41A, 41Bの代わりにアライメントセンサ23を用いてエンハンスド・グローバル・アライメントを行ってもよい。この場合、前述と同様にアライメントマーク24A, 24Bはワーキングレチクル34のアライメントに用いられる。また、ワーキングレチクル34のアライメントに使用するアライメントマーク24A, 24Bとは別に、ダイ・バイ・ダイアライメント、又はエンハンスド・グローバル・アライメントに使用するアライメントマークをワーキングレチクル34（基板4）に形成してもよい。

なお、ワーキングレチクル34の露光用の投影露光装置としては、ステップ・アンド・スキャン方式のような走査露光型の縮小投影型露光装置を使用してもよい。

ところで、基板4（ワーキングレチクル34）に形成するアライメントマークは2つに限られるものではなく、1つ、又は3つ以上であってもよい。また、アライメントマーク24A, 24Bは十字状に限られず、その形状は任意でよく、ライン・アンド・スペースパターン、回折格子などであってもよい。さらにアライメントマーク24A, 24Bは、図2に示した投影露光装置を用いて形成してもよいし、荷電粒子線（電子線、イオンビームなど）を用いる露光装置、又はレーザビーム描画装置などを用いて形成してもよい。

また、アライメントマーク24A, 24Bはクロムなどの遮光材で構成され、図2の投影露光装置では親パターンPiが転写されるレジストを通してアライメントマーク24A, 24Bがアライメントセンサ23又は14A, 14Bによって検出される。このとき、親パターンPiが形成される基板4上の遮光層によつてアライメントマーク24A, 24Bが覆われていると、アライメントセンサ2

3などアライメントマーク 24A, 24Bを検出するのが困難になり得る。そこで、アライメントマーク 24A, 24Bが遮光層で覆われないように、親パターンPiの転写領域（パターン領域 25に相当）を含む所定領域のみに遮光層を蒸着する、あるいはアライメントマーク 24A, 24Bを段差マークとすることが望ましい。なお、ワーキングレチクル 34が位相シフトレチクルであるとき、アライメントマーク 24A, 24Bを位相シフターなどで形成してもよいが、アライメントセンサ 23の検出精度（検出信号の S/N 比など）を考慮すると、位相シフトレチクルであっても遮光材で形成することが望ましい。

さらに、遮光材などからなるアライメントマーク 24A, 24Bの代わりに、基板 4 上のレジストに形成されるアライメントマークの潜像を用いるようにしてもよい。この場合、基板 4 を投影露光装置（図 2）に搬入して親パターン Pi を転写する前に、その投影露光装置を用いて基板 4 上のレジストにアライメントマークの潜像を形成すればよいので、前述したアライメントマークの形成工程を省略でき、ワーキングレチクル 34 の製造時間の短縮や製造コストの低減を図ることができる。

また、ワーキングレチクル 34 に形成するデバイスパターンを拡大して $\alpha \times \alpha$ 個の親パターンに分割し、親パターンをつなぎ合わせて基板 4 に転写するものとしたが、その拡大したデバイスパターンを要素パターン毎に分ける、例えば密集パターンと孤立パターンとに分けて、あるいは機能ブロック毎（CPU とメモリなど）に分けてマスターレチクルに形成し、基板 4 上での親パターン同士のつなぎ部をなくす、あるいは減らすようにしてもよい。この場合、ワーキングレチクルのデバイスパターンによっては、1枚のマスターレチクルの親パターンを基板 4 上の複数の領域にそれぞれ転写することもあるので、ワーキングレチクルの製造に使用するマスターレチクルの枚数を減らすことができる。

さらに、複数のマスターレチクル R_i を順次交換して親パターン Pi をそれぞれ基板 4 に転写するので、ワーキングレチクル 34 を用いたウエハ W の露光に比べて基板 4 の露光に要する時間は比較的長くなり、かつ図 2 の投影露光装置がエキシマレーザを露光光として使用する場合、基板 4 には化学増幅型レジストが使用される。このため、現像処理後に基板 4 上に形成される複数のパターン像（レ

ジストパターン) のうち、例えば 1 番目のマスター レチクル R 1 のパターン像の線幅が目標線幅とならないことがある。即ち、基板 4 上に転写される N 個の親パターン像でそれぞれその露光から現像処理までの時間が異なるので、極端に言えばその親パターン像毎にその線幅変化量が異なり得る。そこで、マスター レチクル毎にその線幅変化量を計測する、又はシミュレーションにて求めておき、親パターンの転写時にその変化量に応じて基板 4 (レジスト) の露光量を微調整することが望ましい。これにより、親パターン毎にその露光量が調整されるので、レジストパターンの線幅変化を最小限に抑えることができる。なお、マスター レチクル毎にその露光量を調整してもよいが、複数枚のマスター レチクル毎にその露光量を調整してもよい。

また、図 2 ~ 図 4 に示した投影露光装置が静止露光方式、例えばステップアンドリピート方式である場合、露光光が連続光 (i 線など) であると、基板 4 上での露光光の強度と照射時間 (露光時間)との少なくとも一方を変化させ、露光光がパルス光 (エキシマレーザなど) であると、基板 4 上での露光光の強度と照射パルス数との少なくとも一方を変化させて、基板 4 (レジスト) の露光量を調整することになる。一方、図 2 ~ 図 4 に示した投影露光装置が走査露光方式、例えばステップアンドスキャン方式である場合、露光光が連続光であると、基板 4 上での露光光の強度と、基板 4 の走査速度と、基板 4 上でのその走査方向に関する露光光の照射領域の幅との少なくとも 1 つを変化させ、露光光がパルス光であると、基板 4 上での露光光の強度と、基板 4 の走査速度と、基板 4 上でのその走査方向に関する露光光の照射領域の幅と、露光光 (パルス光源) の発振周波数との少なくとも 1 つを変化させて、基板 4 (レジスト) の露光量を調整することになる。

この第 4 実施形態によれば、アライメントマークとパターンとの間にローテーションやオフセット等の誤差が少なく、高精度かつ高品質なフォトマスクを製造することができる。さらに、フォトマスクの製造の際及びデバイスの製造の際に同一のアライメントマークを用いて位置合わせするようにしたので、誤差の入る余地が少なく、デバイス用の基板上に形成されるパターンの位置的精度を向上することができ、ひいては特性が良好なマイクロデバイスを製造することができる。

なお、本発明は、上述した各実施形態に限定されるものではなく、本発明の範囲内で種々に改変することができることは言うまでもない。

また、前述の各実施形態では図5に示した露光装置が半導体素子の製造に用いられるものとしたが、例えば液晶表示素子やプラズマディスプレイなどを含むディスプレイ装置、薄膜磁気ヘッド、及び撮像素子（C C D）、さらには携帯電話や家庭用ゲーム機などで使用されるバイブレータ（振動子）などの製造に用いられる露光装置に対しても本発明を適用することができる。

さらに、図5の露光装置では投影光学系42が縮小系であったが、投影光学系42は等倍系、又は拡大系であってもよい。また、投影光学系42は複数の屈折素子のみからなる屈折系、複数の反射素子のみからなる反射系、及び屈折素子と反射素子からなる反射屈折系のいずれであってもよい。さらに、図5の露光装置は投影光学系を用いないプロキシミティ方式、又はコンタクト方式であってもよいし、静止露光方式、及び走査露光方式のいずれであってもよい。

また、図5の露光装置はステップアンドリピート方式、又はステップアンドスキャン方式に限られるものではなく、基板W上で複数のショット領域を部分的に重畠させることでその複数のショット領域に1つのパターンを転写するステップアンドスティッチ方式でもよい。さらに、図5の露光装置は1回の走査露光によって感光基板の全面に多数のパターンを形成するミラープロジェクション方式であってもよい。なお、ステップアンドスティッチ方式では各ショット領域へのパターンの転写時に、静止露光方式、及び走査露光方式のいずれを用いてもよい。走査露光方式は、例えば特開平4-196513号公報及び対応する米国特許第5473410号に開示されており、本国際出願で指定した指定国、又は選択した選択国の国内法令の許す限りにおいてこの公報及び米国特許の開示を援用して本文の記載の一部とする。

さらに、図5の露光装置では露光用照明光として水銀ランプから発生するg線（波長436nm）やi線（波長365nm）、KrFエキシマレーザ（波長248nm）、ArFエキシマレーザ（波長193nm）、F₂レーザ（波長157nm）、Ar²レーザ、及び金属蒸気レーザ又はYAGレーザなどの高調波などを用いることができる。また、DFB半導体レーザ又はファイバーレーザから発振

される赤外域、又は可視域の单一波長レーザを、例えばエルビウム（又はエルビウムとイットリビウムの両方）がドープされたファイバーアンプで増幅し、かつ非線形光学結晶を用いて紫外光に波長変換した高調波を用いてもよい（詳細後述）。さらに、露光用照明光は前述の遠紫外域、又は真空紫外域（波長120～200 nm）に限られるものではなく、レーザプラズマ光源、又はSORから発生する軟X線領域（波長5～15 nm程度）、例えば波長13.4 nm、又は11.5 nmのEUV（Extreme Ultra Violet）光であってもよいし、あるいは硬X線領域（波長1 nm程度以下）であってもよい。なお、EUV露光装置では反射型レチクル（マスク）が用いられるとともに、投影光学系は像面側のみがテセントリックな縮小系であって、かつ複数枚（3～6枚程度）の反射光学素子のみからなる反射系である。

また、本発明は電子線、及びイオンビームなどの荷電粒子線を用いる露光装置に対しても適用することができる。なお、電子線露光装置は直接描画方式（例えばセルプロジェクション方式、可変成形ビーム方式、及びブランкиング・アバーチャ・アレイ方式などを含む）でもよいし、あるいは投影方式（例えば透過型マスクを用いて感光基板上で250 nm角程度の領域を一度に露光する方式）でもよい。直接描画方式ではマスクを用いないが、電子線の成形などに使用されるセル又はアバーチャなどの製造に本発明による露光装置を適用することができる。

以上のように、図5の露光装置はマスク又はレチクル（セル又はアバーチャなどを含む）を用いるものであれば、いかなる構成、方式の露光装置であってもよい。一方、マスク又はレチクル製造の露光装置（図2～図4）も前述したデバイス製造用の露光装置（図5）と同様にいかなる構成、方式のものであってもよいが、親マスク（マスター・レチクル）の製造などを考慮すると、投影型、特に縮小投影型であることが好ましい。なお、図2～図4に示した露光装置では、基板4を試料台5上に固定するものとしたが、真空吸着又は静電吸着による基板4の変形などを避けるために、試料台5上で吸着を行うことなく複数点（例えば3点）で基板4を支持するだけでもよい。

ところで、前述の各実施形態では基板（ブランクス）4として透明基板（石英ガラスなど）を用いるものとした。これは、基板4、即ちワーキングレチクル3

4が適用される露光装置（図5）で使用する露光用照明光IL1が真空紫外域（波長100～200nm程度）、又はそれよりも長い波長域であることを前提としたためである。ここで、露光用照明光IL1の波長が190nm程度以上であるときは、基板4として石英ガラスを用いることが可能であるが、それより短い波長、特に波長が100～180nmでは透過率の点で基板4として石英ガラスを用いることが難しくなる。そこで、露光用照明光IL1の波長が100～180nmであるときは基板4として、例えば萤石、フッ素がドーピングされた石英ガラス、水晶、LiF、LaF₃、及びリチウム・カルシウム・アルミニウムフロライド（ライカフ結晶）などを使用することが好ましい。なお、基板4に形成するマスク材料はワーキングレチクル34の種類などに応じて適宜選択すればよく、前述したクロムなどに限定されるものではない。

さらに、前述したEUV露光装置では反射型レチクルが用いられ、露光波長が13.4nmであるときはシリコンとモリブデンとが交互に数十層コーティングされた多層膜、あるいは露光波長が11.5nmであるときはモリブデンとベリリウムとが交互に数十層コーティングされた多層膜がマスク材料として基板4の表面に形成され、基板4としてガラス基板だけでなくシリコンウェハなどを用いることが可能である。また、プロキシミティ方式のX線露光装置、及び電子線やイオンビームなどの荷電粒子線を用いる露光装置などでは透過型マスク（ステンシルマスク、メンブレンマスク）が用いられ、基板4としてシリコンウェハなどを用いることが可能である。

さて、複数の光学素子が鏡筒内に組み込まれた投影光学系と、多数の光学素子（オプチカルインテグレータなどを含む）から構成される照明光学系の少なくとも一部とを、複数の防振パッドによって支持される架台に固定し、照明光学系及び投影光学系の光学調整をそれぞれ行うとともに、多数の機械部品からなるレチクルステージ（2）やウェハステージ（試料台5とXYステージ6など）及びその駆動系（リニアモータなど）に配線や配管を接続し、かつウェハステージに基づ準マーク部材（12又は46）や光電検出器（56）などを配置し、更に総合調整（電気調整、動作確認等）を行うことにより、図2及び図5にそれぞれ示した投影露光装置を製造することができる。なお、露光装置の製造は温度およびクリ

ーン度等が管理されたクリーンルーム内で行うことが望ましい。

また、半導体デバイスは、デバイスの機能・性能設計を行うステップ、この設計ステップに基づいて、前述のマスターレチカルを用いて図2の露光装置によりワーキングレチカルを製作するステップ、シリコン材料からウエハを製作するステップ、図5の露光装置を用いてワーキングレチカルのパターンをウエハに転写するステップ、デバイス組み立てステップ（ダイシング工程、ボンディング工程、パッケージ工程を含む）、及び検査ステップ等を経て製造される。

光源としては、上記に例示したもの以外にも各種のものを採用でき、例えばD F B半導体レーザ又はファイバーレーザから発振される赤外域、又は可視域の単一波長レーザを、エルビウム（又はエルビウムとイットリビウムの両方）がドープされたファイバーアンプで增幅し、さらに非線形光学結晶を用いて紫外光に波長変換した高調波を用いてもよい。

例えば、単一波長レーザの発振波長を $1.51\text{~}1.59\mu\text{m}$ の範囲内とすると、発生波長が $189\text{~}199\text{ nm}$ の範囲内である8倍高調波、又は発生波長が $151\text{~}159\text{ nm}$ の範囲内である10倍高調波が出力される。特に発振波長を $1.544\text{~}1.553\mu\text{m}$ の範囲内とすると、 $193\text{~}194\text{ nm}$ の範囲内の8倍高調波、即ちArFエキシマレーザとほぼ同一波長となる紫外光が得られ、発振波長を $1.57\text{~}1.58\mu\text{m}$ の範囲内とすると、 $157\text{~}158\text{ nm}$ の範囲内の10倍高調波、即ちF₂レーザとほぼ同一波長となる紫外光が得られる。

また、発振波長を $1.03\text{~}1.12\mu\text{m}$ の範囲内とすると、発生波長が $147\text{~}160\text{ nm}$ の範囲内である7倍高調波が出力され、特に発振波長を $1.09\text{~}1.106\mu\text{m}$ の範囲内とすると、発生波長が $157\text{~}158\mu\text{m}$ の範囲内の7倍高調波、即ちF₂レーザとほぼ同一波長となる紫外光が得られる。なお、単一波長発振レーザとしてはイットリビウム・ドープ・ファイバーレーザを用いる。

明細書、特許請求の範囲、図面、及び要約を含む、1998年3月26日付提出の日本国特許出願第10-98373号、1998年3月31日付提出の日本国特許出願第10-103767号、及び1998年5月12日付提出の日本国特許出願第10-146586号の全ての開示内容は、そっくりそのまま引用し

てここに組み込まれている。

請求の範囲

1. マスクに形成されたパターンを投影光学系を介して感光基板上に投影露光する方法において、

前記投影光学系による投影像の位置を計測し、

前記投影像の位置の理想位置からのずれ量が小さくなるように結像特性を補正した状態で前記マスクのパターンを投影露光することを特徴とする露光方法。

2. 前記マスクにマークを形成し、該マスクのマークの投影像を計測することを特徴とする請求項1に記載の露光方法。

3. 前記マスクに形成されたパターンの投影像を計測することを特徴とする請求項1に記載の露光方法。

4. マスクに形成されたパターンを投影光学系を介して感光基板上に投影露光する方法において、

前記マスクに第1マークを形成し、

第2マーク及び前記第1マークに対応する第3マークを形成してなる管理用基準マスクの該第2マークの前記投影光学系による投影像の位置を計測して第2像位置とし、

前記第2像位置の理想位置からのずれ量が小さくなるように結像特性を予備的に補正した状態での前記第3マークの前記投影光学系による投影像の位置を求めて第3像位置とし、

前記マスクの前記第1マークの前記投影光学系による投影像の位置を計測して第1像位置とし、

前記第1像位置が前記第3像位置に対して所定の位置関係となるように結像特性を補正した状態で前記マスクのパターンを投影露光することを特徴とする露光方法。

5. 前記第1マークは前記マスクのパターンが形成されたパターン領域の周辺領域に形成し、

前記第2マークは前記管理用基準マスクの前記パターン領域に相当する第1領域に形成し、

前記第3マークは前記管理用基準マスクの前記周辺領域に相当する第2領域に形成したことを特徴とする請求項4に記載の露光方法。

6. 前記所定の位置関係は、前記第1像位置が前記第3像位置に一致又は近接する関係であることを特徴とする請求項4又は5に記載の露光方法。

7. 前記マスクの前記第1マークの位置と前記管理用基準マスクの前記第3マークの位置のずれ量を予め計測して補正值とし、

前記所定の位置関係は、前記第1像位置が前記第3像位置を前記補正值で補正した位置に実質的に一致する関係であることを特徴とする請求項4又は5に記載の露光方法。

8. 前記第1乃至第3マークは空間像計測用のマークであり、該第1乃至第3マークの前記投影光学系による投影像の位置は空間像計測方法により計測されることを特徴とする請求項4又は5に記載の露光方法。

9. 前記第1乃至第3マークの前記投影光学系による投影像の位置の計測は、該投影光学系の光軸と平行な第1方向、該第1方向に直交する第2方向、並びに該第1及び該第2方向に直交する第3方向のうちの少なくとも一つの成分について行うことを特徴とする請求項4又は8に記載の露光方法。

10. 前記結像特性は、前記投影光学系の投影倍率、前記投影光学系の収差、前記マスクの前記投影光学系に対する位置、及び前記感光基板の前記投影光学系に対する位置のうちの少なくとも一つを調整することにより、補正されることを特徴とする請求項4又は8に記載の露光方法。

11. 前記第1乃至第3マークは複数の配列されたスリット又はピンホールからなるマーク要素から構成されることを特徴とする請求項8に記載の露光方法。

12. 前記第1乃至第3マークは、前記スリットの太さ又は前記ピンホールの大きさ及び間隔が互いに異なる複数種類のマーク要素から構成され、該複数種類のマーク要素のうちの少なくとも一つを選択して、投影像の位置の計測を行うことを特徴とする請求項11に記載の露光方法。

13. 前記管理用基準マスクの前記第2マークは、前記第1領域に複数分散的に配置されていることを特徴とする請求項4又は8に記載の露光方法。

14. 前記第2マークの前記投影光学系による投影像のそれぞれの位置の理想位置からのずれ量の自乗に重み係数を乗じたものの総和が最小となるよう前記結像特性の予備的な補正を行うことを特徴とする請求項13に記載の露光方法。

15. 前記重み係数は前記第2マークのそれぞれについて同一であることを特徴とする請求項14に記載の露光方法。

16. 前記重み係数は前記第2マークの前記第1領域内での位置に応じて異なることを特徴とする請求項14に記載の露光方法。

17. 前記重み係数は前記第2マークの前記第1領域内での位置が外側に行くに従って順次大きく又は順次小さくなるように選定されたことを特徴とする請求項16に記載の露光方法。

18. 転写用のパターンを拡大したパターンを複数枚のマスクのパターンに分割し、感光基板の表面に複数枚の前記マスクのパターンの投影光学系による縮小像を画面継ぎを行いながら順次投影露光する方法であって、

前記マスクのパターンが形成されたパターン領域の周辺領域に第1マークをそれぞれ形成し、

前記マスクの前記パターン領域に相当する第1領域に複数の第2マークを形成するとともに、前記マスクの前記周辺領域に相当する第2領域に前記第1マークに相対する第3マークを形成してなる管理用基準マスクの該第2マークの前記投影光学系による投影像の位置をそれぞれ計測して第2像位置とし、

前記第2像位置の理想位置からのずれ量が小さくなるように結像特性を予備的に補正した状態での前記第3マークの前記投影光学系による投影像の位置を求めて第3像位置とし、

前記マスクの前記第1マークの前記投影光学系による投影像の位置を計測して第1像位置とし、

前記第1像位置が前記第3像位置に一致又は近接するように結像特性を補正した状態で前記マスクのパターンを順次投影露光することを特徴とする露光方法。

19. 前記マスクはマスターマスクであり、前記感光基板はマスク製造用の基板であることを特徴とする請求項18に記載の露光方法。

20. 前記マスクはワーキングマスクであり、前記感光基板はデバイス製造用の基板であることを特徴とする請求項18に記載の露光方法。

21. 前記第2マークの前記投影光学系による投影像のそれぞれの位置の理想位置からのずれ量の自乗に重み係数を乗じたものの総和が最小となるように前記結像特性の予備的な補正を行い、

前記重み係数は前記第2マークの前記第1領域内で他のマスクとの画面継ぎが行われる辺の近傍の部分に位置するものが大きく、その余の部分が小さくなるように選定されたことを特徴とする請求項18に記載の露光方法。

22. マスクに形成されたパターンを投影光学系を介して感光基板上に投影露光する方法において、

前記マスクのパターンが形成されたパターン領域の周辺領域にまで該パターンの一部または全てを至らしめて、該パターンの該周辺領域に存する部分を空間像計測用のマーク部とし、

前記マスクの前記マーク部の前記投影光学系による投影像の位置を空間像計測方法により計測し、

前記マーク部の像位置の理想位置からのずれ量が最小となるように、結像特性を補正するとともに、前記マーク部をブラインドにより遮光した状態として前記マスクのパターンを投影露光することを特徴とする露光方法。

23. マスクに形成されたパターンを投影光学系を介して感光基板上に投影露光する装置において、

そのパターン領域に転写すべきパターンが、該パターン領域の周辺領域に空間像計測用の第1マークが形成されたマスク、及び前記マスクの前記パターン領域に相当する第1領域に空間像計測用の第2マークを形成するとともに、前記周辺領域に相当する第2領域に前記第1マークに相対する空間像計測用の第3マークを形成してなる管理用基準マスクを選択的に又は同時に保持するマスクステージと、

露光対象としての感光基板を保持する基板ステージと、

前記マスクステージ及び前記基板ステージを移動する駆動装置と、

前記基板ステージに設けられた受光部を有する空間像計測装置と、

結像特性を調整する調整装置と、

前記管理用基準マスクの前記第2マークの前記投影光学系による投影像の位置を前記空間像計測装置により計測して第2像位置とし、該第2像位置の理想位置からのずれ量が最小となるように、前記調整装置により結像特性を予備的に補正した状態での前記第3マークの前記投影光学系による投影像の位置を計測して第3像位置とし、前記第1像位置が前記第3像位置に一致又は近接するように、前記調整装置により結像特性を補正した状態で前記マスクのパターンを前記感光基板に転写するよう制御する制御装置と、を備えたことを特徴とする露光装置。

24. 転写用のパターンを拡大したパターンを複数枚の親マスクのパターンに分割し、マスク基板の表面に複数枚の前記親マスクのパターンの投影光学系による縮小像を画面継ぎを行いながら順次投影露光する方法であって、

前記マスク基板上の実投影点の理想投影点に対する変位を求め、

求めた変位に基づき前記親マスクに形成するパターンの少なくとも一部を歪ませる、又は前記投影光学系の物体面側での前記親マスクのパターンの位置をシフトさせることを特徴とする露光方法。

25. 前記変位は、前記親マスクのパターンの変形、前記投影光学系の収差、及び前記マスク基板の変形のうちの少なくとも1つにより生じる変位であることを特徴とする請求項24に記載の露光方法。

26. マスターマスクのパターンの像を第1投影光学系によりマスク基板上に投影してワーキングマスクを製造し、該ワーキングマスクのパターンの像を第2投影光学系によりマイクロデバイスが形成されるデバイス基板上に投影露光する方法において、

前記マスク基板上の実投影点の理想投影点に対する変位及び前記デバイス基板上の実投影点の理想投影点に対する変位の少なくとも一方を求め、

求めた変位に基づき前記マスターマスクに形成するパターンの少なくとも一部を歪ませる、又は前記第1投影光学系の物体面側での前記マスターマスクのパターン位置をシフトさせることを特徴とする露光方法。

27. 転写用のパターンを拡大したパターンを複数枚の前記マスターマスクのパターンに分割し、前記マスク基板の表面に複数枚の前記マスターマスク

のパターンの縮小像を画面継ぎを行いながら順次転写することを特徴とする請求項 26 に記載の露光方法。

28. 前記変位は、前記マスターマスクのパターンの変形、前記第 1 投影光学系の収差、前記マスク基板の変形、前記ワーキングマスクのパターンの変形、及び前記第 2 投影光学系の収差のうちの少なくとも 1 つにより生じる変位であることを特徴とする請求項 26 又は 27 に記載の露光方法。

29. 請求項 1 ~ 19, 21、22、及び 24 のいずれか一項に記載の露光方法を用いて製造されたことを特徴とするフォトマスク。

30. 請求項 1 ~ 18、20 ~ 22、26、及び 27 のいずれか一項に記載の露光方法を用いて製造されたことを特徴とするマイクロデバイス。

31. 転写用のパターンの形成されたフォトマスクの製造方法において、前記転写用のパターンを拡大したパターンを複数枚の親マスクのパターンに分割し、

前記フォトマスク用の基板の表面にアライメントマークを形成し、

前記アライメントマークを用いて前記フォトマスク用の基板と前記親マスクとを位置合わせしつつ、前記フォトマスク用の基板の表面に複数枚の前記親マスクのパターンの縮小像を画面継ぎを行いながら順次転写することを特徴とするフォトマスクの製造方法。

32. 請求項 31 に記載のフォトマスクの製造方法を用いて製造されたことを特徴とする位置合わせ用のアライメントマークを有するフォトマスク。

33. 請求項 32 に記載のフォトマスク上のパターンをデバイス用の基板上に投影する露光方法において、

前記フォトマスクの前記アライメントマークを用いて、該フォトマスクと前記デバイス用の基板とを位置合わせすることを特徴とする露光方法。

34. 複数枚の親マスクを収納するマスク収納装置と、

該マスク収納装置から選択された 1 枚の親マスクが載置されるマスクステージと、

該マスクステージ上の親マスクのパターンの縮小像をアライメントマークが形成されたフォトマスク用の基板上に投影する投影光学系と、

前記フォトマスク用の基板を前記投影光学系の光軸に垂直な平面上で位置決めする基板ステージと、

前記複数枚の親マスクのパターンの縮小像の画面継ぎを前記フォトマスク用の基板上で行うために、前記基板ステージ上の前記フォトマスク用の基板の前記アライメントマークを用いて、前記マスクステージ上の前記親マスクと前記基板ステージ上の前記フォトマスク用の基板との位置合わせを行うアライメント系と、を有することを特徴とする露光装置。

35. 請求項32に記載のフォトマスク上のパターンの像をデバイス用の基板上に投影する露光装置において、

前記フォトマスクが載置されるマスクステージと、

該マスクステージ上のフォトマスクのパターンの縮小像を前記デバイス用の基板上に投影する投影光学系と、

前記デバイス用の基板を前記投影光学系の光軸に垂直な平面上で位置決めする基板ステージと、

前記フォトマスクのパターンを前記デバイス用の基板上に投影するために、前記マスクステージ上の前記フォトマスクの前記アライメントマークを用いて、前記マスクステージ上の前記フォトマスクと前記基板ステージ上の前記デバイス用の基板との位置合わせを行うアライメント系と、

を有することを特徴とする露光装置。

36. フォトマスク用の第1基板上にアライメントマークを形成し、マイクロデバイスが形成される第2基板上に転写すべきデバイスパターンを複数の要素パターンに分けるとともに、前記アライメントマークを検出して得られる位置情報を用いて、前記複数の要素パターンの縮小像をそれぞれ前記第1基板上に転写して前記デバイスパターンを形成し、前記デバイスパターンが形成されたフォトマスクの前記アライメントマークを用いて前記デバイスパターンを前記第2基板上に転写することを特徴とするマイクロデバイスの製造方法。

37. 複数のマスクを用いて、感光基板上で部分的に重畳する複数の領域にそれぞれパターンを転写する露光方法であって、

前記パターンの転写時における前記複数の領域の一部での露光量を他の領域で

の露光量と異ならせることを特徴とする露光方法。

3 8 . 前記複数の領域にそれぞれ転写されるパターン像の線幅変化量に応じて前記露光量を決定することを特徴とする請求項 3 7 に記載の露光方法。

3 9 . 前記パターンの転写から前記感光基板の現像処理までの時間に応じて前記露光量を決定することを特徴とする請求項 3 7 に記載の露光方法。

4 0 . 前記複数の領域にそれぞれ転写されるパターンは互いに異なるマスクに形成され、前記複数の領域でそれぞれ前記露光量を異ならせることを特徴とする請求項 3 7 ~ 3 9 のいずれか一項に記載の露光方法。

4 1 . 請求項 3 7 ~ 3 9 のいずれか一項に記載の露光方法を用いて、ステップアンドスティッチ方式でフォトマスク用の基板上に複数のパターンをそれぞれ転写する工程を含むフォトマスク製造方法。

4 2 . 請求項 3 7 ~ 3 9 のいずれか一項に記載の露光方法を用いて、ステップアンドスティッチ方式でデバイス用の基板上に複数のパターンをそれぞれ転写する工程を含むデバイス製造方法。

4 3 . マスクに照明ビームを照射するとともに、投影光学系を介して前記照明ビームで感光基板を露光する方法において、

前記照明ビームの照射領域内の互いに異なる複数点でそれそれ前記投影光学系による投影像を検出して得られる第 1 情報に基づいて、前記投影像の光学特性を調整し、前記光学特性が調整された状態で前記照射領域の外側の少なくとも 1 つの計測点で前記投影光学系による投影像を検出して得られる第 2 情報を記憶し、

前記マスクを用いて前記照明ビームで前記感光基板を露光するために、前記第 2 情報を利用して、前記投影光学系によるパターン像の特性を調整することを特徴とする露光方法。

4 4 . 前記マスク上で前記照射領域の外側に配置されるマークを検出し、前記第 2 情報と前記マークの検出によって得られる第 3 情報とに基づいて、前記パターン像の特性を調整することを特徴とする請求項 4 3 に記載の露光方法。

4 5 . 前記マークは、前記感光基板上に転写すべきパターンが形成される前記マスク上のパターン領域外で互いに異なる複数の位置にそれぞれ形成されることを特徴とする請求項 4 4 に記載の露光方法。

4 6 . 前記マスクと異なる特定マスクを用いて前記第 1 及び第 2 情報を得ることを特徴とする請求項 4 5 に記載の露光方法。

4 7 . 前記特定マスクは、前記パターン領域に対応する第 1 領域とその外側の第 2 領域とにそれぞれ複数のマークが形成され、前記第 1 領域のマーク検出によって前記第 1 情報を得るとともに、前記第 2 領域のマーク検出によって前記第 2 情報を得ることを特徴とする請求項 4 6 に記載の露光方法。

4 8 . 請求項 4 3 ~ 4 7 のいずれか一項に記載の露光方法を用いて、デバイスパターンをワークピース上に転写する工程を含むことを特徴とするデバイス製造方法。

4 9 . 請求項 4 3 ~ 4 7 のいずれか一項に記載の露光方法を用いて、複数の親マスクに形成されたパターンをステップアンドスティッチ方式でフォトマスク用の基板上に転写する工程を含むことを特徴とするフォトマスクの製造方法。

5 0 . 前記投影光学系は前記親マスクのパターンを縮小投影し、前記投影光学系の投影倍率の逆数倍だけ前記フォトマスクに形成すべきデバイスパターンを拡大し、該拡大されたパターンを要素、又は機能毎に分けて前記複数の親マスクにそれぞれ形成することを特徴とする請求項 4 9 に記載のフォトマスクの製造方法。

5 1 . 露光装置で使用するフォトマスクを製造する方法において、前記フォトマスクに形成すべきデバイスパターンの拡大パターンが複数に分割されてそれ形成される複数の親マスクを用いて、前記フォトマスク用の基板上で部分的に重畳する複数の領域をそれぞれ露光するとともに、前記露光装置による前記親マスクの転写特性に基づいて、前記基板上での前記分割されたパターンの縮小像の形状と位置との少なくとも 1 つを調整することを特徴とするフォトマスクの製造方法。

5 2 . 前記転写特性に基づいて、前記拡大パターンから生成される前記分割されたパターンの設計データを修正し、該修正された設計データに従って前記分割されたパターンを前記親マスクに形成することを特徴とする請求項 5 1 に記載のフォトマスクの製造方法。

5 3 . 前記転写特性に基づいて、前記分割されたパターンの縮小像を形

成する投影光学系の光学特性を調整することを特徴とする請求項 5 1 に記載のフォトマスクの製造方法。

5 4. 前記分割されたパターンを前記基板上に転写するために、前記親マスクと前記基板とを同期移動して前記複数の領域をそれぞれ走査露光し、前記縮小像の形状を調整するために、前記転写特性に基づいて前記走査露光の条件を変更することを特徴とする請求項 5 1 に記載のフォトマスクの製造方法。

FIG. I

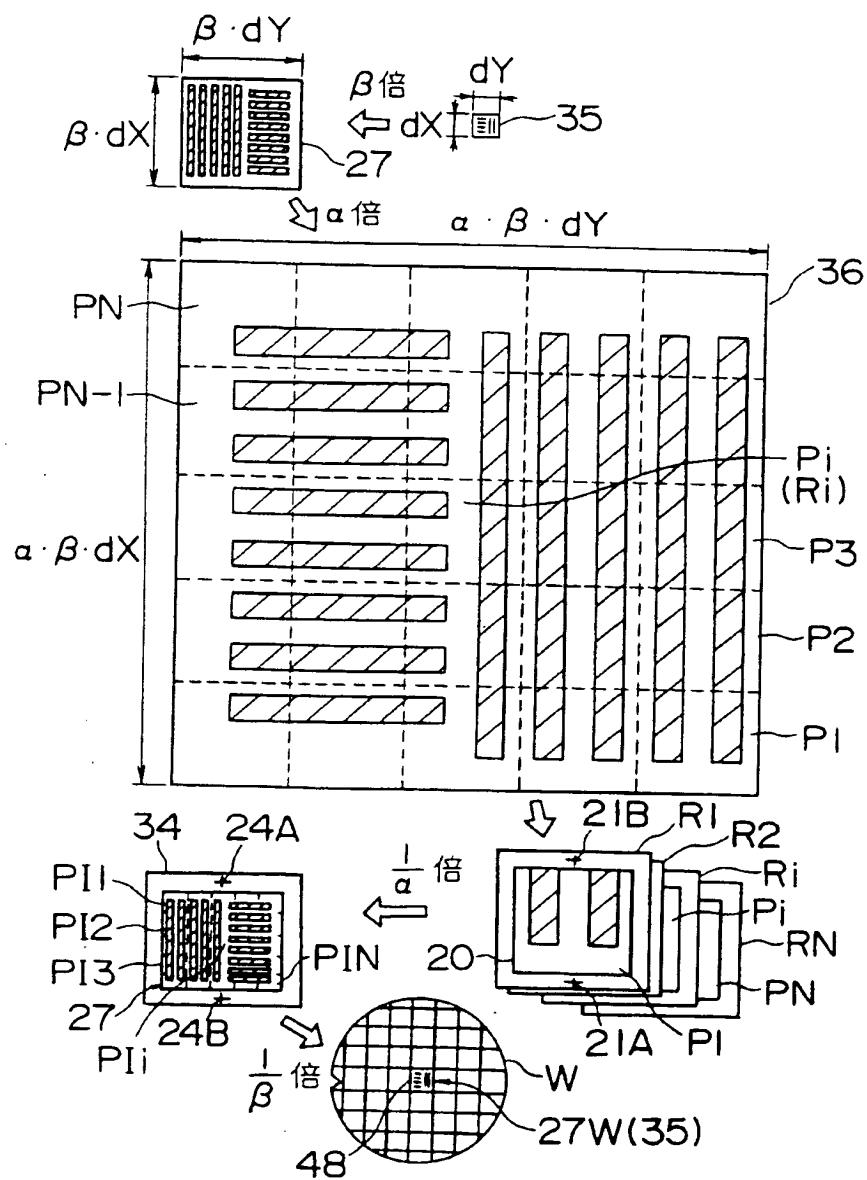


FIG. 2

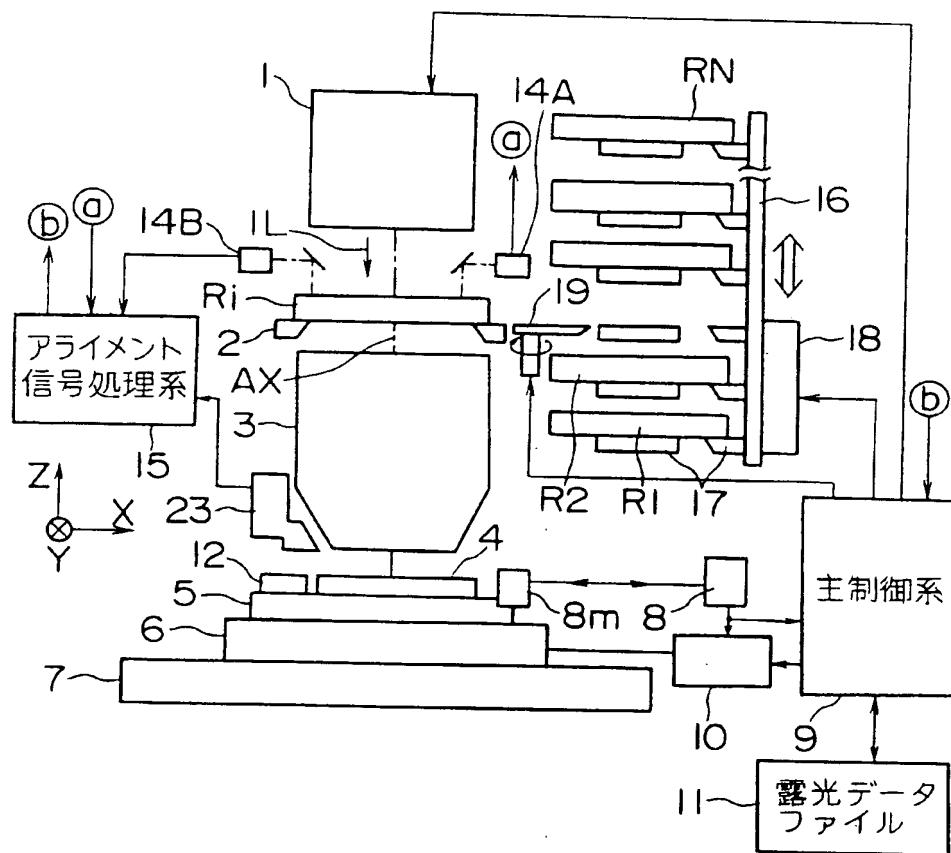


FIG. 3

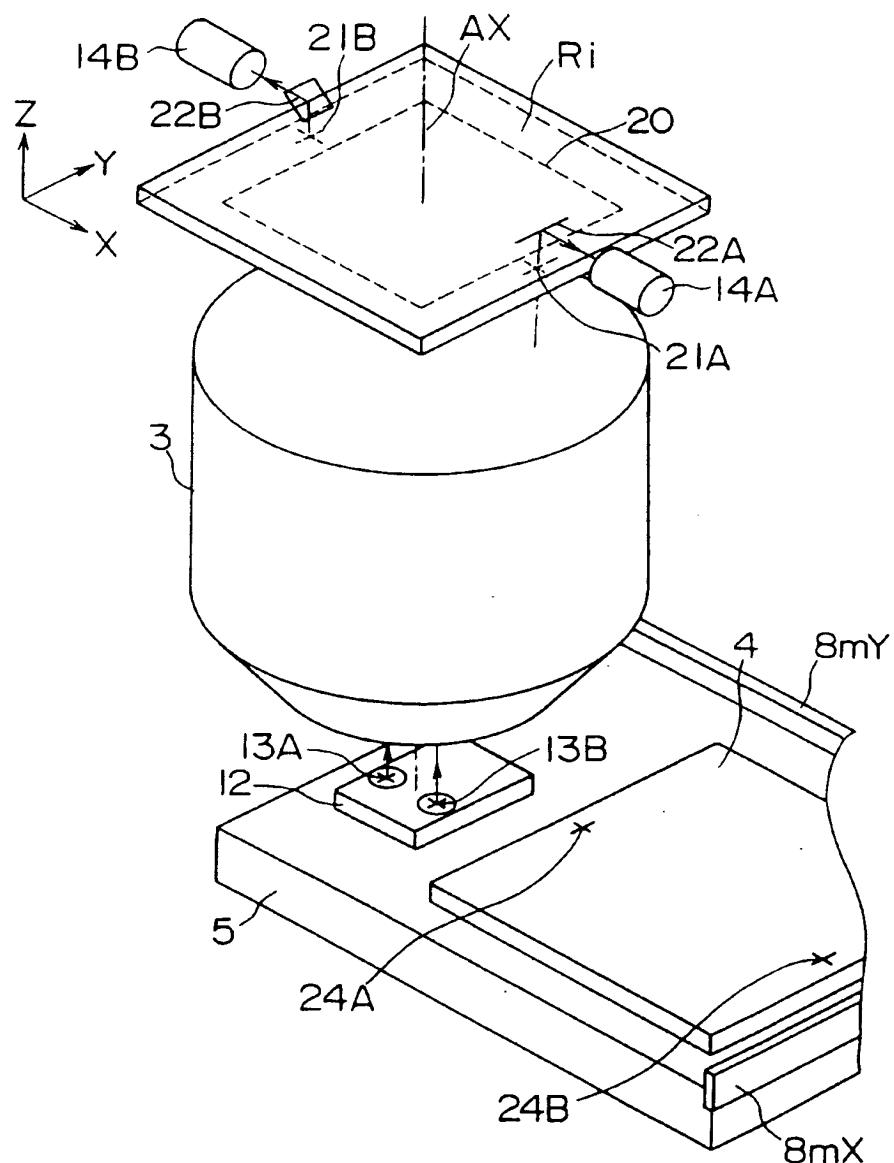


FIG. 4

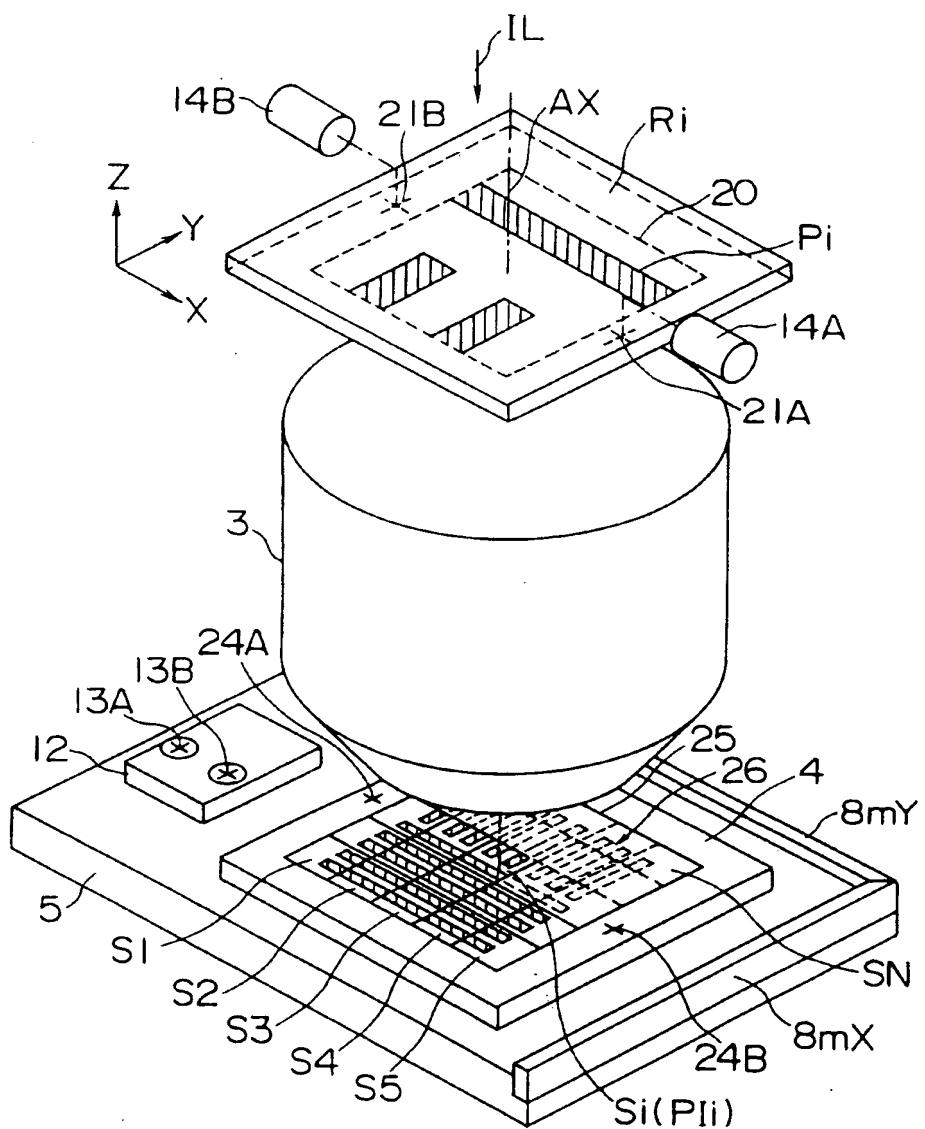


FIG. 5

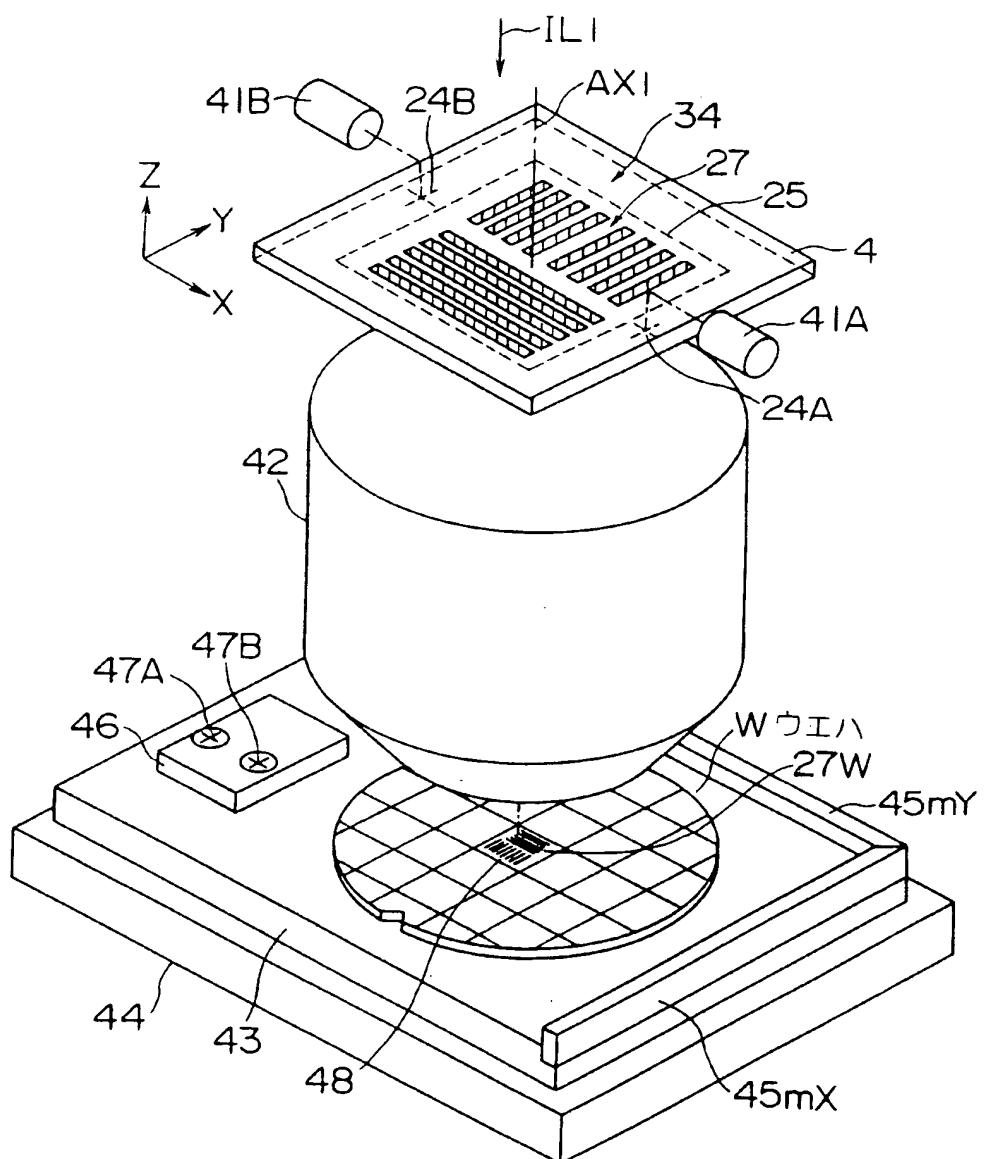


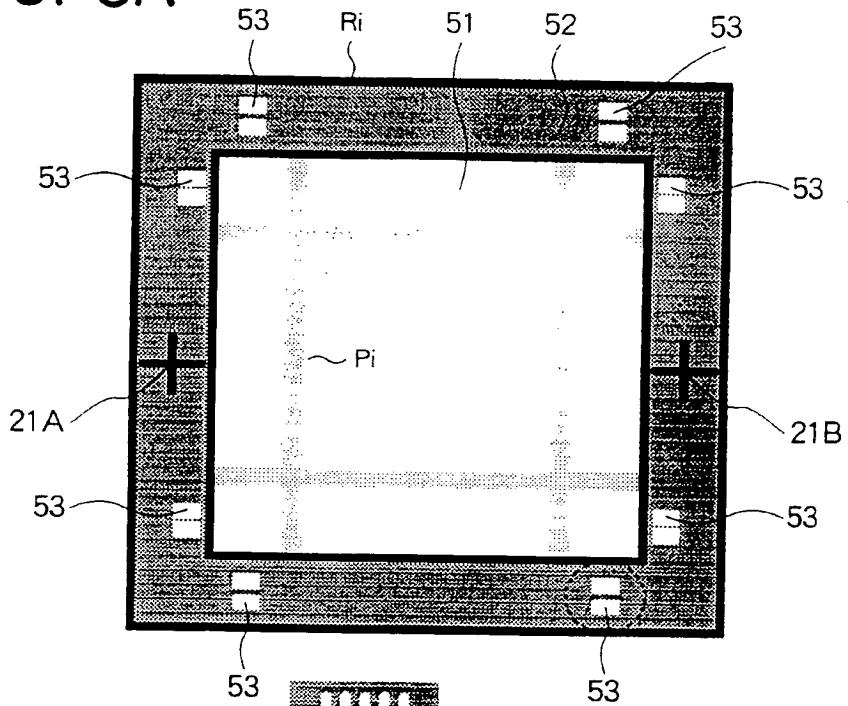
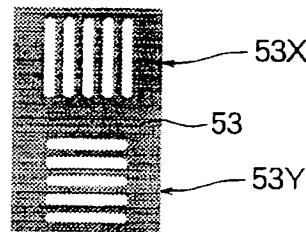
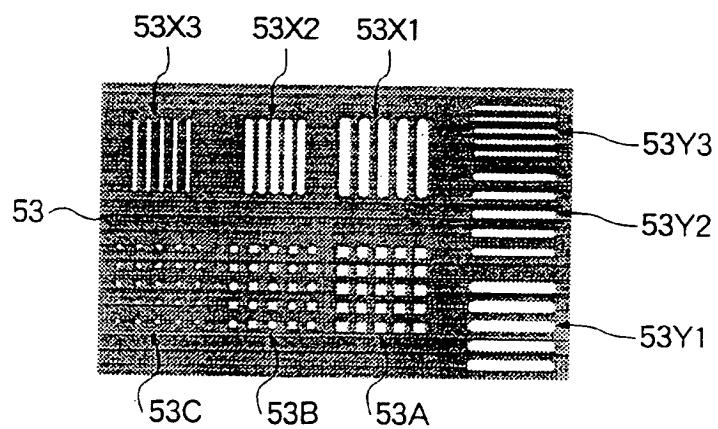
FIG. 6A**FIG. 6B****FIG. 6C**

FIG. 7

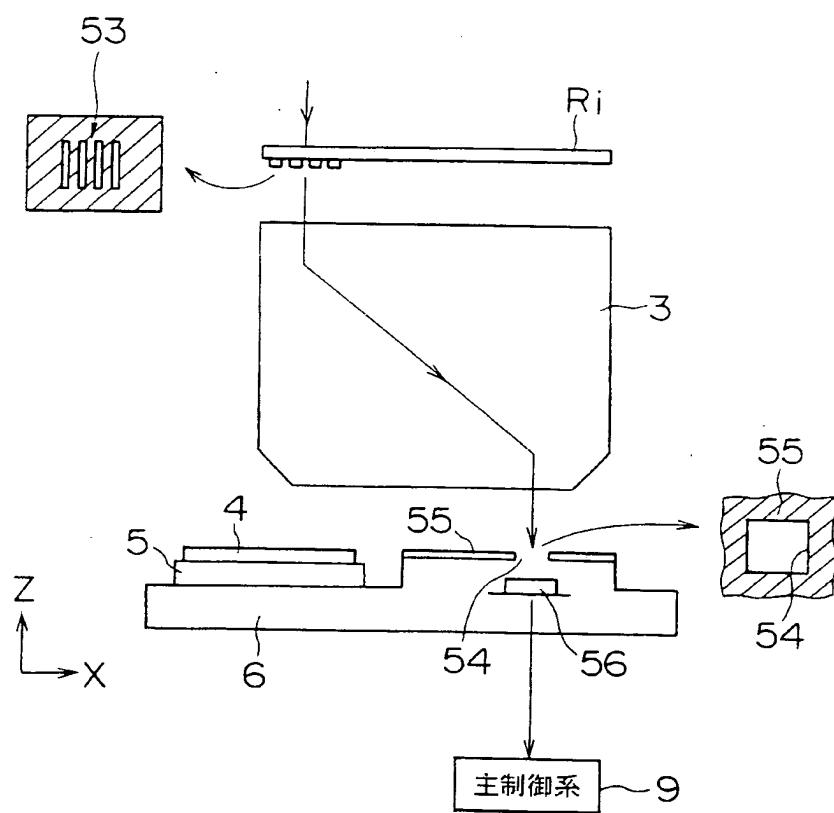


FIG. 8A

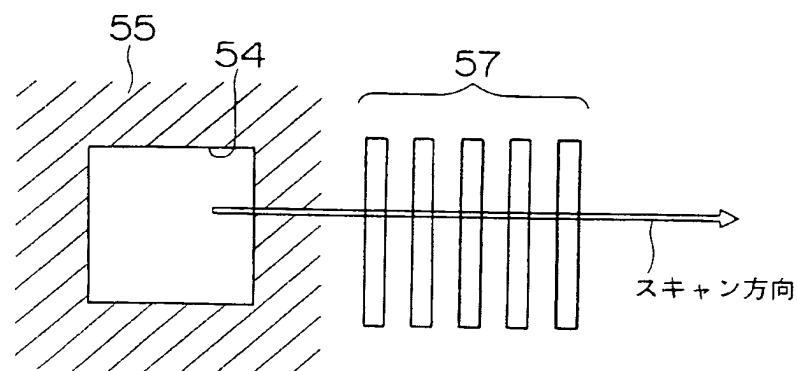


FIG. 8B

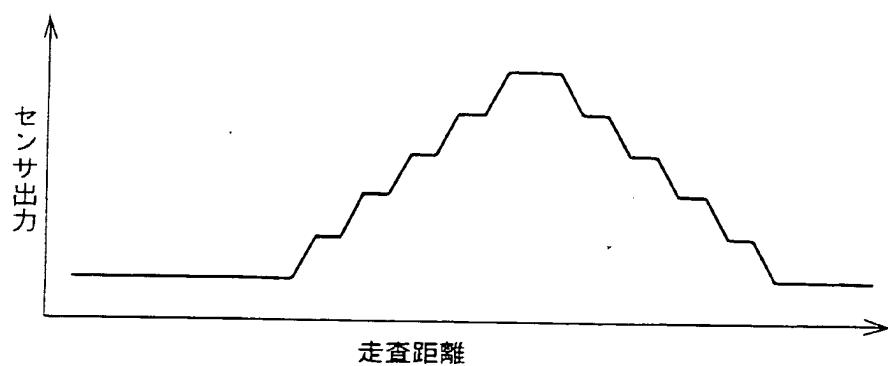


FIG. 9

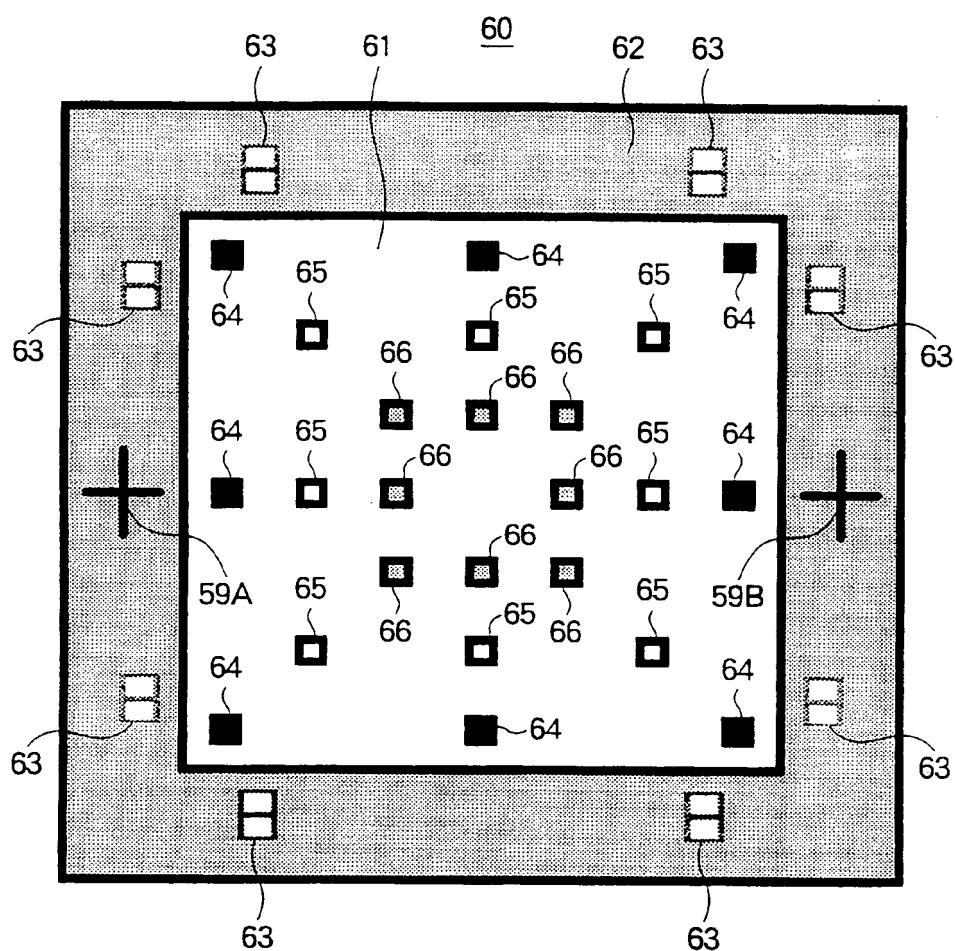


FIG. 10

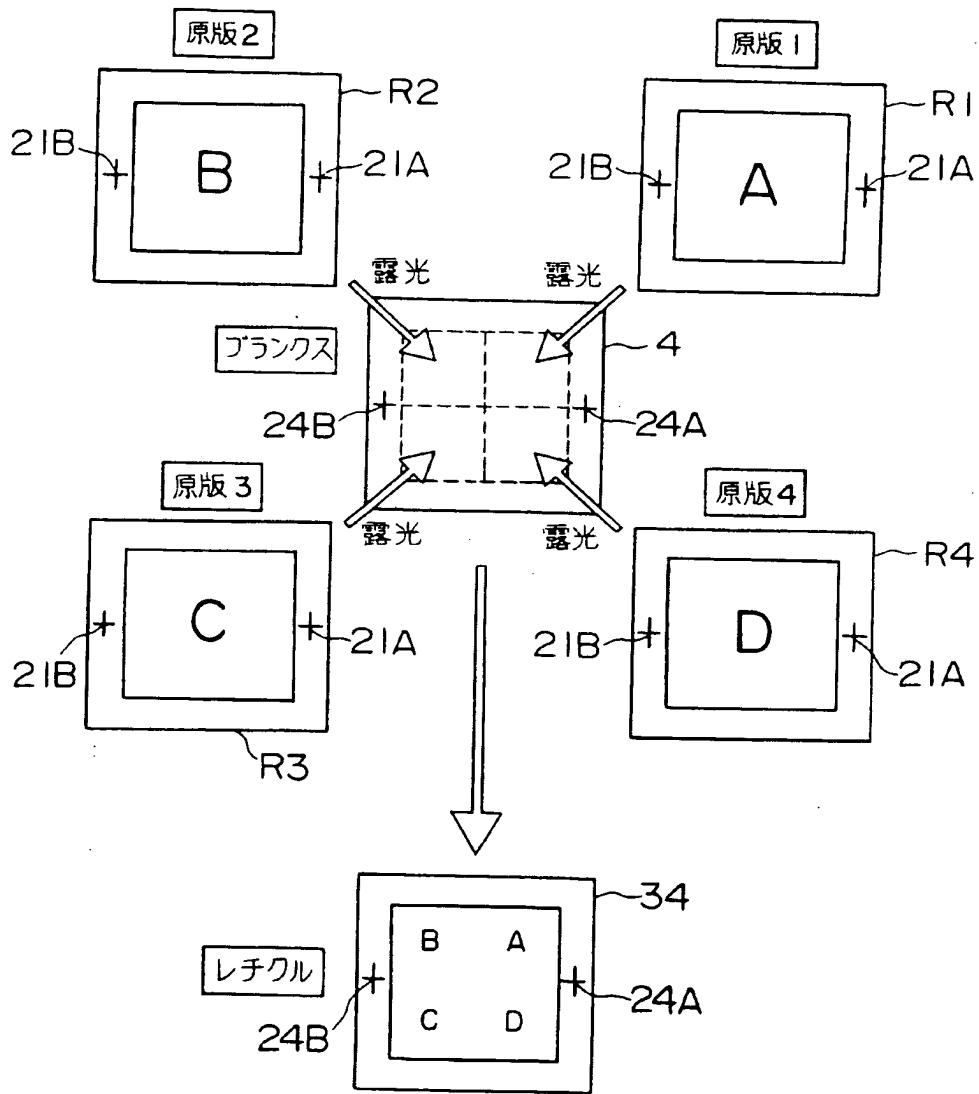


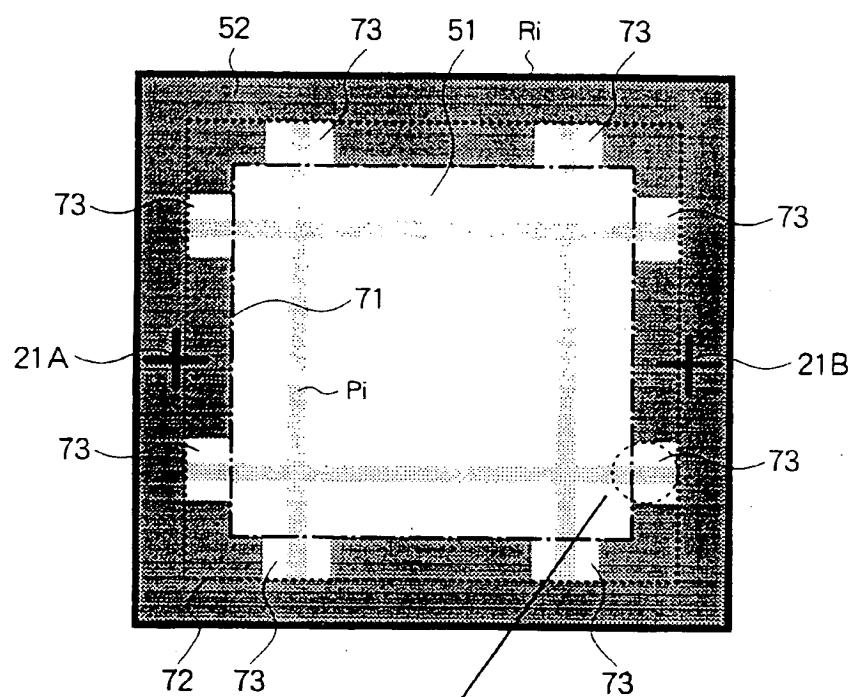
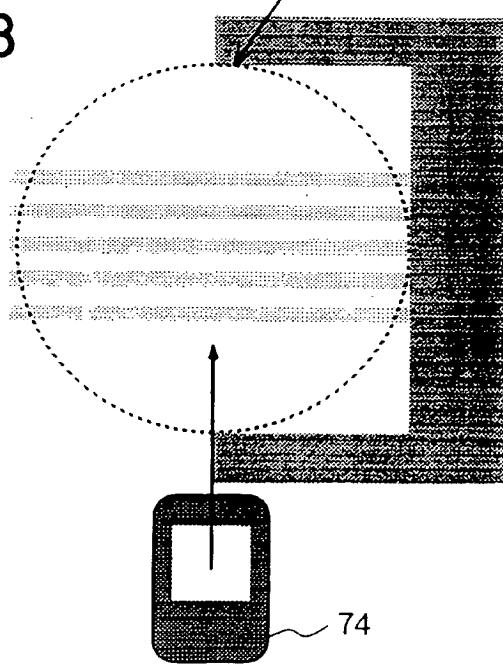
FIG. II A**FIG. II B**

FIG. 12

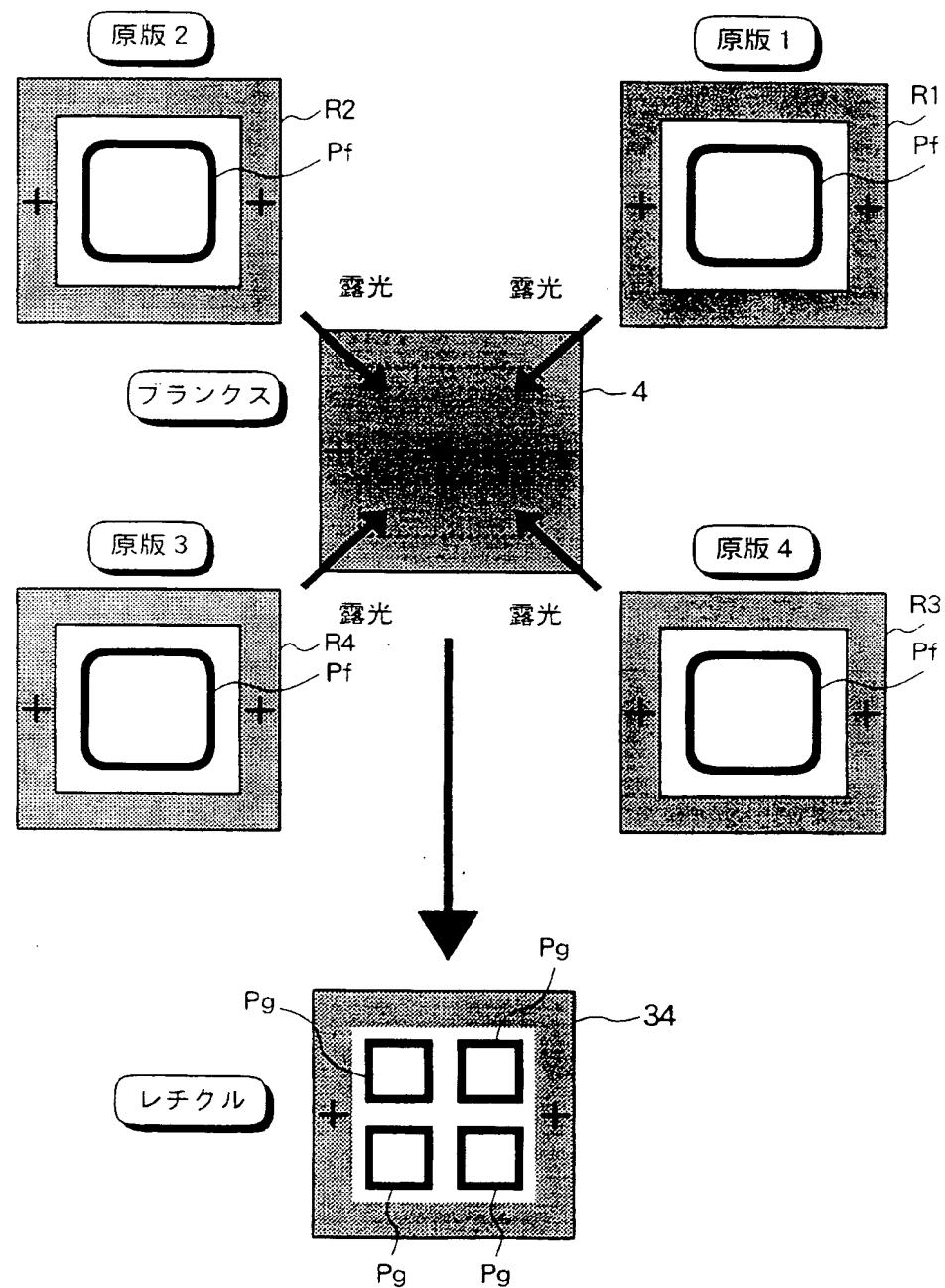


FIG. 13

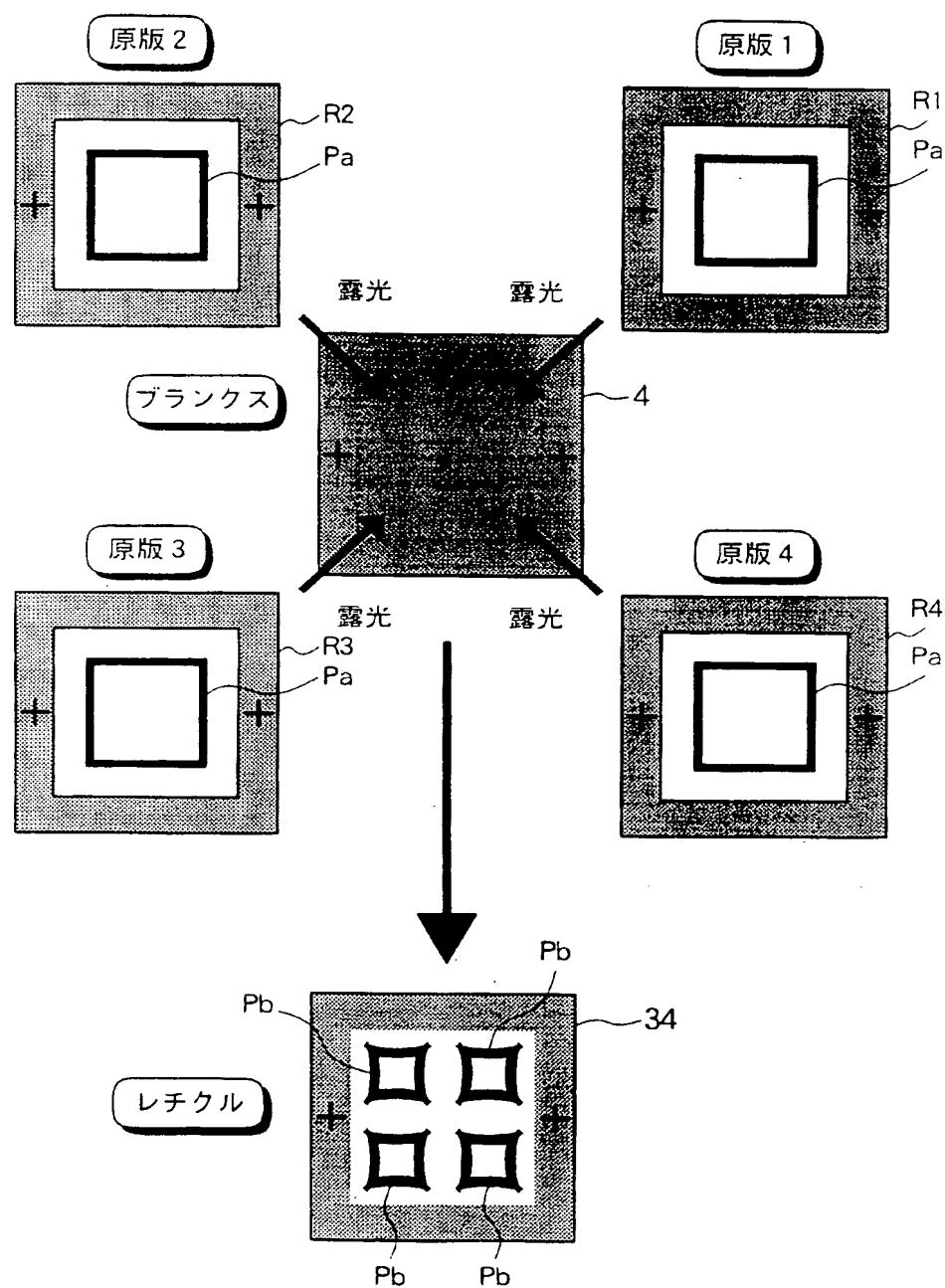


FIG. 14

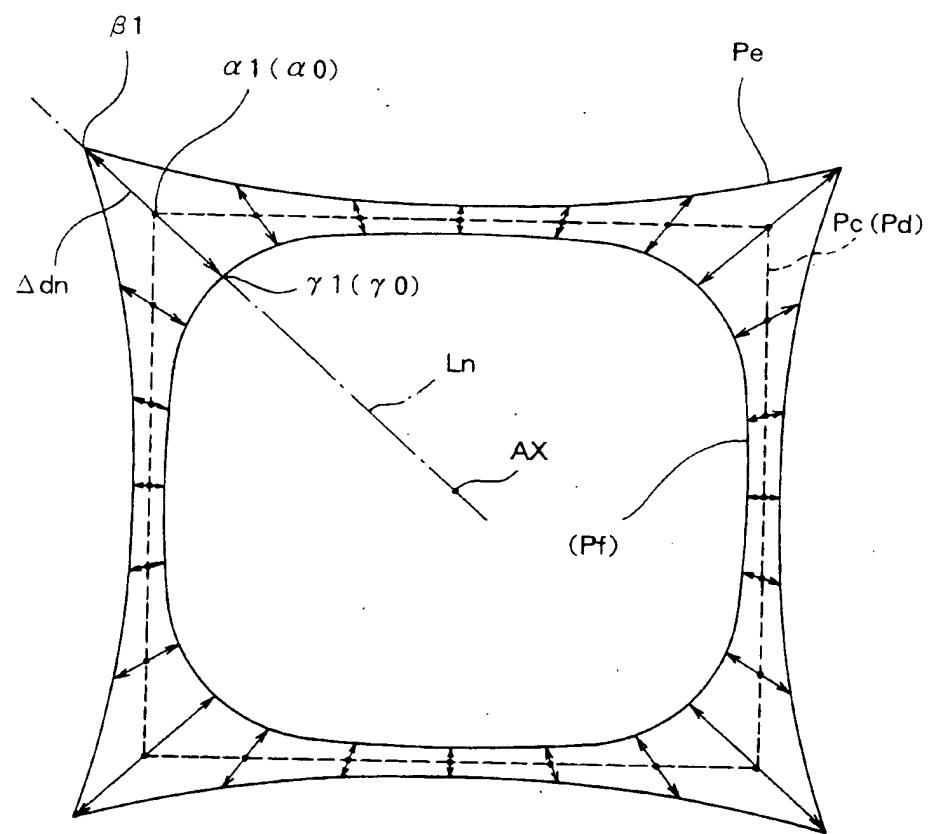


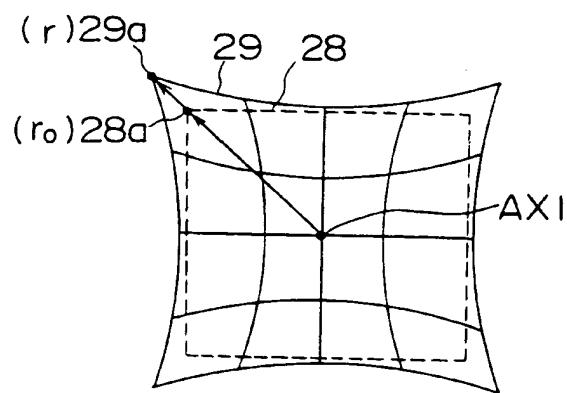
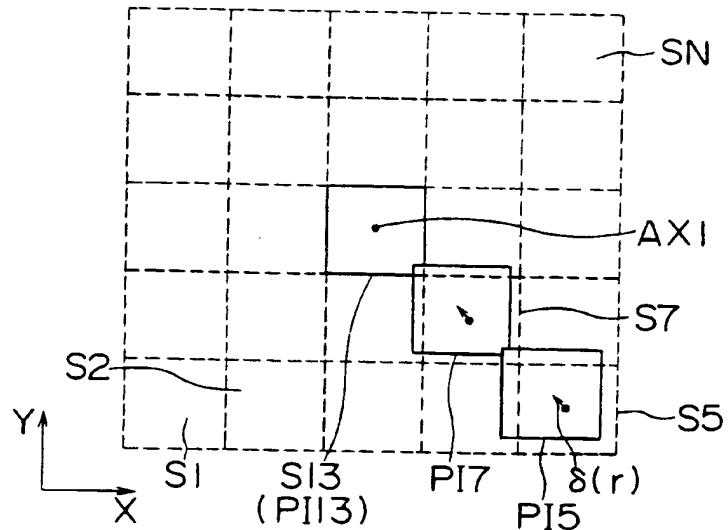
FIG. 15A**FIG. 15B**

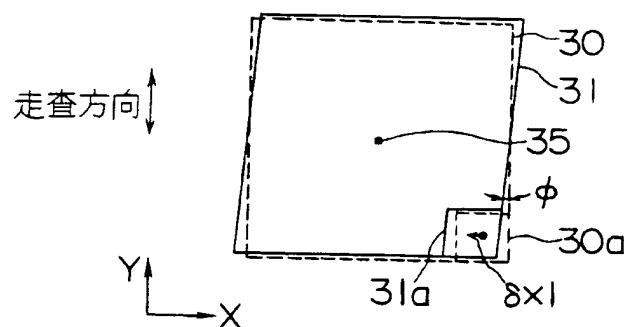
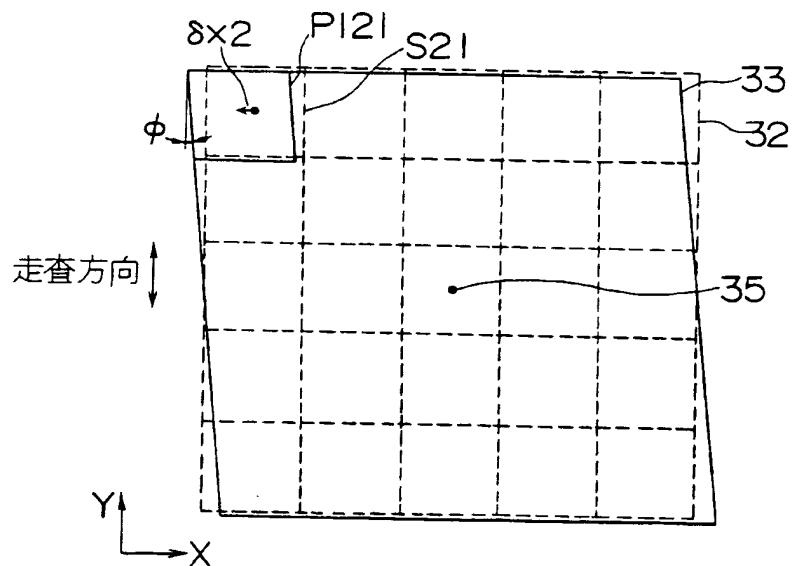
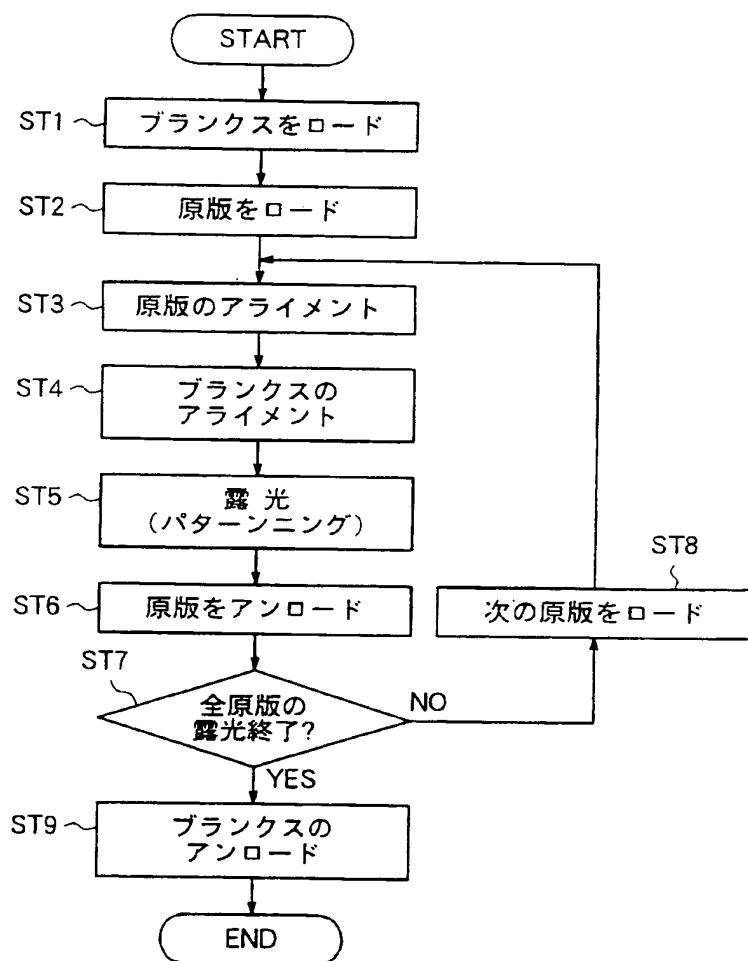
FIG. 16A**FIG. 16B**

FIG. 17



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP99/01548

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl⁶ G03F1/08, G03F9/00, H01L21/027

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
Int.Cl⁶ G03F1/08, G03F9/00, H01L21/027

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-1999
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-1999 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-1999

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP, 10-74696, A (Nikon Corp.), 17 March, 1998 (17. 03. 98), Abstract (Family: none)	1-3
X Y A	JP, 4-311025, A (Fujitsu Ltd.), 2 November, 1992 (02. 11. 92), Claims (Family: none)	37, 40, 42, 51, 52 38, 39, 41, 53, 54
Y A	JP, 8-69958, A (Canon Inc.), 12 March, 1996 (12. 03. 96), Page 3, right column, line 37 to page 9, right column, line 15 & US, 5593800, A	24-32, 34-36, 51, 52 19, 33, 49, 50
Y A	JP, 62-200728, A (Hitachi,Ltd.), 4 September, 1987 (04. 09. 87), Page 2, lower right column, line 14 to page 3, lower left column, line 17 (Family: none)	4-13, 18, 20, 23, 43, 44, 48 14-17, 21, 45-47

Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"E" earlier document but published on or after the international filing date	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	"&" document member of the same patent family
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 14 June, 1999 (14. 06. 99)	Date of mailing of the international search report 22 June, 1999 (22. 06. 99)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office	Authorized officer
Facsimile No.	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP99/01548

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP, 7-211618, A (Hitachi,Ltd.), 11 August, 1995 (11. 08. 95), Page 2, right column, line 26 to page 3, right column, line 20 (Family: none)	18, 20, 24-30
Y	JP, 58-208747, A (Hitachi,Ltd.), 5 December, 1983 (05. 12. 83), Page 1, right column, lines 5 to 10 (Family: none)	22

国際調査報告

国際出願番号 PCT/JP99/01548

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））
Int. Cl° G03F1/08, G03F9/00, H01L21/027

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））
Int. Cl° G03F1/08, G03F9/00, H01L21/027

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-1999年
日本国登録実用新案公報	1994-1999年
日本国実用新案登録公報	1996-1999年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	J P, 10-74696, A (株式会社ニコン) 17. 3月. 1998 (17. 03. 98) 要約 (ファミリーなし)	1-3
Y A	J P, 4-311025, A (富士通株式会社) 2. 11月. 1992 (02. 11. 92) 特許請求の範囲 (ファミリーなし)	37, 40, 42 51, 52 38, 39, 41, 53, 54
Y A	J P, 8-69958, A (キャノン株式会社) 12. 3月. 1996 (12. 03. 96) 第3頁右欄37行-第9頁右欄15行 & US, 5593800, A	24-32, 34-36, 51, 52 19, 33, 49, 50

 C欄の続きにも文献が列挙されている。 パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「I」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日 14. 06. 99	国際調査報告の発送日 22.06.99
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/JP) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官（権限のある職員） 岩本 勉 印 電話番号 03-3581-1101 内線 3274

C (続き) 関連すると認められる文献		関連する 請求の範囲の番号
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	
Y	J P, 62-200728, A (株式会社日立製作所) 4. 9月. 1987 (04. 09. 87) 第2頁右下欄14行-第3頁左下欄 17行 (ファミリーなし)	4-13, 18, 20, 23, 43, 44, 48 14-17, 21, 45-47
Y	J P, 7-211618, A (株式会社日立製作所) 11. 8月. 1995 (11. 08. 95) 第2頁右欄26行-第3頁右欄20 行 (ファミリーなし)	18, 20, 24-30
Y	J P, 58-208747, A (株式会社日立製作所) 5. 12 月. 1983 (05. 12. 83) 第1頁右欄5行-10行 (ファ ミリーなし)	22